

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO E INGENIERA AMBIENTALES**

**TEMA:
DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL MEDIANTE
LODOS ACTIVADOS PARA LA COMUNIDAD DE PESILLO, PARROQUIA OLMEDO**

**AUTORES:
ANDRÉS EDUARDO ARCINIEGA TENEMAZA
JOHANNA PATRICIA SALAZAR CHACHA**

**TUTOR:
RENATO GABRIEL SÁNCHEZ PROAÑO**

Quito, marzo del 2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Andrés Eduardo Arciniega Tenemaza con documento de identificación N°171862758-9 y Johanna Patricia Salazar Chacha con documento de identificación N°172520699-7, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL MEDIANTE LODOS ACTIVADOS PARA LA COMUNIDAD DE PESILLO, PARROQUIA OLMEDO, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERO E INGENIERA AMBIENTALES, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.


.....
Andrés Eduardo Arciniega Tenemaza
171862758-9

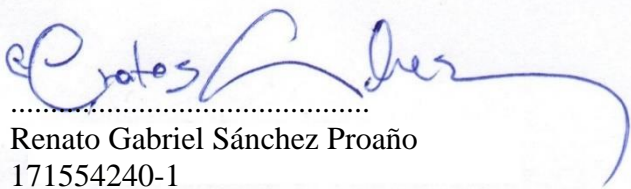

.....
Johanna Patricia Salazar Chacha
172520699-7

Quito, marzo 2021

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo Experimental, **DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL MEDIANTE LODOS ACTIVADOS PARA LA COMUNIDAD DE PESILLO, PARROQUIA OLMEDO** realizado por Andrés Eduardo Arciniega Tenemaza y Johanna Patricia Salazar Chacha, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, marzo 2021



Renato Gabriel Sánchez Proaño
171554240-1

DEDICATORIA

A Dios por darme la fortaleza y salud para seguir adelante y poder culminar la carrera universitaria.

A mis padres por ser mis pilares fundamentales de mi vida, estar presentes en cada momento de dificultad y quienes siempre con sus palabras o actos supieron darme fuerza para seguir y no desmayar gracias por siempre estar comprometidos a ayudarme a alcanzar cualquier meta impuesta.

A mis hermanos David y Lucia por todo el cuidado, apoyo y amor que me dan siendo mi ejemplo para seguir en mi camino.

A mis sobrinos que cada día con sus ocurrencias me levantan el ánimo generando un momento de olvido de los problemas cotidianos.

A mi novia Johanna por nunca dejarme rendir gracias por tus palabras que siempre me dan la fuerza necesaria para seguir adelante, por todo el amor, cariño y paciencia que me brindas cada día.

Andrés Eduardo Arciniega Tenemaza

A Dios por ser mi luz y fortaleza para llegar hasta este punto de culminación de mi carrera universitaria a pesar de las dificultades que se han presentado.

A mis padres por darme su ejemplo de perseverancia para afrontar los momentos difíciles, por sus palabras de aliento para no darme por vencida, por su amor incondicional para forjar en mí una persona de bien y siempre retarme a ser mejor cada día en todos los aspectos de mi vida. Su dedicación y sacrificio han sido la clave para lograr esta meta profesional.

A mi hermana por ser mi compañera de luchas y siempre estar a mi lado apoyándome cuando más lo necesité, este logro también es tuyo pequeña. En ti he encontrado la razón para querer ser mejor cada día y culminar la carrera de la mejor manera para darte el mejor ejemplo posible.

A mi novio Andrés por toda la paciencia y amor que me ha sabido demostrar a lo largo de la carrera universitaria. Gracias por ser mi apoyo en cada paso que doy, tus palabras de aliento han sido fundamentales para sobrellevar los momentos difíciles y lograr esta meta tan anhelada juntos.

Johanna Patricia Salazar Chacha

AGRADECIMIENTO

A mi tutor Ing. Renato Sánchez por que más que un profesor es un amigo quien me supo brindar sus conocimientos y experiencia para el desarrollo del trabajo experimental.

A el Ing. Jorge Sandoval por el tiempo, gestión y colaboración que nos brindó para llevar a cabo el presente trabajo siendo parte intermediaria de organización con la comunidad de Pesillo.

A la comunidad y a la Junta de Agua Potable y Alcantarillado de Pesillo por su acogida y por el espacio necesario para realizar la investigación.

Andrés Eduardo Arciniega Tenemaza

A el Ing. Renato Sánchez por brindarme sus conocimientos y aportar de manera desinteresada en el desarrollo del trabajo experimental. Gracias por su acertada dirección.

A el Ing. Jorge Sandoval por su predisposición y excelente gestión para el ingreso a la comunidad de Pesillo, sin su apoyo no hubiese sido posible el desarrollo del trabajo experimental en la fase de campo.

A la Junta de Agua Potable y Alcantarillado de Pesillo por su apertura para el desarrollo del tema de investigación del trabajo experimental dentro de la comunidad.

A mis amigas Evelin, Steffy, Sofía, Keyla, y Mishell por ser mi apoyo a lo largo de todos estos años. Gracias por compartir mis logros y darme una amistad tan sincera.

A mis compañeros de trabajo Edison, Lenin y Janina por su comprensión para autorizar el ausentarme del trabajo y así poder efectuar el trabajo de campo sin inconvenientes. Gracias por sus enseñanzas y consejos dentro de la vida profesional.

Johanna Patricia Salazar Chacha

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS.....	5
2.1. Objetivo General.....	5
2.2. Objetivos Específicos.....	5
3. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	6
3.1. Agua Residual	6
3.2. Tipos de Aguas Residuales	6
3.2.1. Aguas residuales domésticas.....	7
3.2.2. Aguas residuales industrial	7
3.2.3. Aguas residuales municipales	7
3.3. Calidad del Agua.....	8
3.4. Características de las Aguas Residuales	8
3.4.1. Características físicas.....	8
3.4.1.1. Turbiedad	8
3.4.1.2. Color	9
3.4.1.3. Olor	9
3.4.1.4. Temperatura	10
3.4.1.5. Conductividad.....	10
3.4.1.6. Sólidos.....	10
3.4.1.6.1. Sólidos totales	10
3.4.1.6.2. Sólidos sedimentables	11

3.4.1.6.3. Sólidos disueltos	11
3.4.1.6.4. Sólidos suspendidos	11
3.4.2. Características químicas.....	11
3.4.2.1. Demanda bioquímica de oxígeno.....	11
3.4.2.2. Demanda química de oxígeno.....	12
3.4.2.3. Oxígeno disuelto	12
3.4.2.4. Grasas y aceites.....	12
3.4.2.5. Potencial de hidrógeno.....	13
3.4.2.6. Potencial de óxido reducción	13
3.4.2.7. Nitrógeno y fosforo.....	13
3.4.3. Características biológicas.....	13
3.5. Tratamientos de Aguas Residuales	14
3.5.1. Índice de biodegradabilidad.....	14
3.5.2. Sistemas de tratamiento por contaminantes presentes en el agua.....	15
3.5.3. Pretratamiento	17
3.5.3.1. Desbaste	17
3.5.3.2. Dilaceración	17
3.5.3.3. Desarenado.....	17
3.5.4. Tratamientos primarios	18
3.5.4.1. Flotación	18
3.5.4.2. Sedimentación.....	18
3.5.4.3. Coagulación	18
3.5.5. Tratamientos secundarios.....	18

3.5.5.1. Lodos activados	19
3.5.5.2. Filtros percoladores.....	19
3.5.5.3. Lecho de secado	19
3.5.6. Tratamientos terciarios.....	20
3.5.6.1. Precipitación química.....	20
3.5.6.2. Intercambio iónico	20
3.5.6.3. Adsorción	20
3.6. Lodos Activados	20
3.7. Marco Legal Aplicable	22
3.7.1. Constitución de la República del Ecuador	22
3.7.2. Código orgánico ambiental	23
3.7.3. Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua	24
3.7.4. Ley orgánica de salud	25
3.7.5. Acuerdo N° 061: reforma del libro VI del texto unificado de legislación secundaria	26
3.7.6. Acuerdo 097A reforma del texto unificado de legislación secundaria	26
4. MATERIALES Y MÉTODOS	29
4.1. Materiales.....	29
4.2. Equipos	30
4.3. Metodología	31
4.3.1. Metodología empleada in-situ.....	31
4.3.1.1. Muestreo	31
4.3.1.2. Medición de caudal/aforo	33

4.3.1.3. Potencial de hidrógeno, potencial de óxido reducción y temperatura	33
4.3.1.4. Oxígeno disuelto	33
4.3.1.5. Turbidez	33
4.3.1.6. Levantamiento topográfico	34
4.3.2. Metodología empleada laboratorio	34
4.3.2.1. Conductividad	34
4.3.2.2. Demanda química de oxígeno.....	35
4.3.2.3. Demanda bioquímica de oxígeno.....	35
4.3.2.4. Nitrato	36
4.3.2.5. Nitrito	36
4.3.2.6. Fosfato.....	37
4.3.2.7. Sólidos sedimentables	37
4.3.2.8. Sólidos totales	37
4.3.2.9. Sólidos suspendidos totales.....	38
4.4. Metodología de análisis estadístico	39
4.5. Diseño	42
4.5.1. Población de diseño	42
4.5.1.1 índice de crecimiento de la población.....	42
4.5.1.2 Periodo de diseño	43
4.5.1.3 Proyección de la población	43
4.5.2. Caudal de diseño	43
4.5.3. Diseño de la planta de tratamiento de agua residual mediante lodos activos .	44
4.5.3.1. Diseño de canal de ingreso	44

4.5.3.2. Diseño de criba	46
4.5.3.3. Diseño de trampa de grasas.....	47
4.5.3.4. Diseño de sedimentador primario	50
4.5.3.5. Diseño de sedimentador secundario.....	53
4.5.3.6. Diseño de tanque de cloración y dosificación de cloro.....	56
4.5.3.7. Determinación de tasas de lodos activados.....	58
4.5.3.8. Diseño de tanque de aireación	58
4.5.3.9. Diseño de sistema de aireación	60
4.5.3.10. Diseño de lecho de secado	62
4.6. Estudio de Sostenibilidad.....	65
4.6.1. Análisis social	65
4.6.2. Análisis económico y técnico	65
4.6.2.1. Costos referenciales por unidad de tratamiento y equipos.....	66
4.6.2.2. Costos referenciales de operación y mantenimiento.....	67
4.6.2.3. Costos por metro cubico de agua tratada	68
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	69
5.1. Resultados medidos In Situ.....	69
5.2. Resultados en Laboratorio	70
5.2.1. Parámetros físicos	70
5.2.2. Parámetros químicos.....	70
5.2.3. Parámetros biológicos	71
5.3. Resultados del Índice de Biodegradabilidad.....	72
5.4. Resultados Dimensionamiento Unidades de Tratamiento	72

5.4.1. Dimensionamiento de canal de ingreso	72
5.4.2. Dimensionamiento de la criba	73
5.4.3. Dimensionamiento de la trampa de grasas.....	74
5.4.4. Dimensionamiento del sedimentador primario	75
5.4.5. Tasas de lodos	76
5.4.6. Dimensionamiento del sedimentador secundario	78
5.4.7. Dimensionamiento del tanque de cloración y dosificación de cloro	79
5.4.8. Dimensionamiento del tanque aireador y sistema de aireación	80
5.4.9. Dimensionamiento del lecho de secado	82
5.5. Resultados del Análisis Social	83
5.6. Discusión.....	88
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	90
6.1. Conclusiones	90
6.2. Recomendaciones	91
7. BIBLIOGRAFÍA.....	92
8. ANEXOS.....	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Patógenos Comunes Transportados por el Agua	14
Tabla 2 Relación entre DBO5 y DQO	15
Tabla 3 Tratamiento de Aguas Residuales.....	15
Tabla 4 Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce	27
Tabla 5 Materiales Empleados en la Etapa de Muestreo In Situ	29
Tabla 6 Materiales Empleados en la Etapa de Análisis de Laboratorio.....	29
Tabla 7 Equipos Empleados en el Análisis In Situ	30
Tabla 8 Equipos Empleados en el Análisis de Laboratorio	31
Tabla 9 Análisis Estadístico DQO	39
Tabla 10 Análisis Estadístico DBO5	40
Tabla 11 Análisis Estadístico Sólidos Sedimentables.....	41
Tabla 12 Medidas Típicas del Ancho del Canal	44
Tabla 13 Características de Rejillas de Barras.....	47
Tabla 14 Parámetros de Diseño de Sedimentador Secundario	53
Tabla 15 Criterios de Diseño para Lechos de Secado de Arena	63
Tabla 16 Costos Referenciales de Construcción.....	66
Tabla 17 Costos Referenciales de Adquisición de Equipos.....	66
Tabla 18 Costos Referenciales de Consumo Energético de los Equipos	67
Tabla 19 Costos Referenciales de Operación	67
Tabla 20 Resultados de los Análisis In Situ.....	69
Tabla 21 Resultados de los Análisis Físicos	70
Tabla 22 Resultados de los Análisis Químicos	70

Tabla 23	Resultados de los Análisis de Aceites y Grasas	71
Tabla 24	Resultados de los Análisis Biológicos	71
Tabla 25	Resultados del Índice de Biodegradabilidad.....	72
Tabla 26	Dimensiones del Canal de Ingreso.....	72
Tabla 27	Dimensiones de la Criba	73
Tabla 28	Dimensiones de la Trampa de Grasa	74
Tabla 29	Dimensiones del Sedimentador Primario.....	75
Tabla 30	Datos para Cálculo de Tasas	76
Tabla 31	Cálculo de Tasas	77
Tabla 32	Dimensiones del Sedimentador Secundario.....	78
Tabla 33	Dimensiones del Tanque de Cloración y Dosificación de Cloro	79
Tabla 34	Dimensiones del Tanque Aireador.....	80
Tabla 35	Dimensiones del Sistema de Aireación.....	81
Tabla 36	Dimensiones del Lecho de Secado	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa Geográfico de la Comunidad de Pesillo	3
Figura 2 Localización de la PTAR	4
Figura 3 Lecho Típico de Secado de Arena.....	19
Figura 4 Esquema del Proceso de Lodos Activado Convencional	22
Figura 5 Punto de Muestreo.....	32
Figura 6 Grafica de Probabilidad DQO	40
Figura 7 Grafica de Probabilidad DBO5	41
Figura 8 Grafica de Probabilidad Solidos Sedimentables	42
Figura 9 Canal de Ingreso	73
Figura 10 Criba	74
Figura 11 Trampa de Grasas	75
Figura 12 Sedimentador Primario.....	76
Figura 13 Gráfica $X\theta_c/So - S$ vs. $1/S$	77
Figura 14 Gráfica $1/\theta_c$ vs. $So - S/X\theta_c$	78
Figura 15 Sedimentador Secundario.....	79
Figura 16 Tanque de Cloración	80
Figura 17 Tanque Aireador y Sistema de Aireación.....	81
Figura 18 Lecho de Secado.....	82
Figura 19 Interpretación Grafica de la Pregunta N°1	83
Figura 20 Interpretación Gráfica de la Pregunta N°2	83
Figura 21 Interpretación Grafica de la Pregunta N°3	84
Figura 22 Interpretación Grafica de la Pregunta N°4	84

Figura 23	Interpretación Grafica de la Pregunta N°5	85
Figura 24	Interpretación Grafica de la Pregunta N°6	85
Figura 25	Interpretación Grafica de la Pregunta N°7	86
Figura 26	Interpretación Grafica de la Pregunta N°8	86
Figura 27	Interpretación Grafica de la Pregunta N°9	87
Figura 28	Interpretación Grafica de la Pregunta N°10	87

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Curvas de Nivel.....	97
Anexo 2 Modelo de Encuesta	98
Anexo 3 Socialización del Proyecto de Investigación en la Comunidad de Pesillo.....	99
Anexo 4 Evidencia Fotográfica del Muestreo y Análisis In Situ en Pesillo.....	100
Anexo 5 Evidencia Fotográfica del Análisis en Laboratorio.....	101
Anexo 6 Evidencia Fotográfica de la Tratabilidad a Escala de Laboratorio	102
Anexo 7 Evidencia Fotográfica del Levantamiento Topográfico.....	103
Anexo 8 Resultados Realizados en Laboratorio de Suelo y Agua Cayambe UPS	104
Anexo 9 Resultados AyG Muestra 1 Realizados en Laboratorio Environovalab	105
Anexo 10 Resultados AyG Muestra 2 Realizados en Laboratorio Environovalab	106
Anexo 11 Esquema General de la Planta de Tratamiento de Agua	107
Anexo 12 Diseño del Canal de Llegada, Criba y Trampa de Grasas	108
Anexo 13 Diseño del Sedimentador Primario	109
Anexo 14 Diseño del Sedimentador Secundario	110
Anexo 15 Diseño del Tanque Aireador	111
Anexo 16 Diseño del Tanque de Cloración y Lecho de Secado.....	112

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad proponer un sistema de tratamiento de aguas residuales de los efluentes provenientes de la comunidad de Pesillo, parroquia Olmedo, esto con el fin de dar solución a la problemática actual de contaminación del recurso agua debido a que es un problema colectivo por el hecho de que demás comunidades aguas abajo utilizan la misma corriente de agua para actividades de riego, abrevaderos, etc. Para conocer si el tratamiento propuesto sería el adecuado para el tipo de agua residual de Pesillo se determinó primero el índice de biodegradabilidad, del cual se obtuvo un índice promedio de 0,41 estableciendo de manera concisa que el tratamiento biológico mediante lodos activados propuesto en la presente investigación queda acorde al tipo de agua residual a tratar. Al ser un agua residual domestico a tratar se aplicó un muestreo compuesto durante una semana consiguiendo conocer las características reales que tiene el agua residual, con los análisis obtenidos se procedió a dimensionar la PTAR generando el diseño de las unidades acorde a su tipo de agua residual, población futura y caudal. Así también como parte de la investigación se realizó la prueba de tratabilidad a escala de laboratorio con lodos activados para conocer las tasas de lodos, para ello se aireó durante 24 horas para asegurar que el sistema se mantenga aerobio durante la prueba. Consiguiendo así que el parámetro de DQO bajara de 1101 mg/L a 117 mg/L. Las dimensiones de las unidades de tratamiento se utilizaron para efectuar el diseño del esquema general de la PTAR para la comunidad de Pesillo, en los planos se visualiza el canal de ingreso, la criba, trampa de grasas, sedimentador primario y secundario, tanque aireador, tanque de cloración y el lecho de secado.

ABSTRACT

The purpose of this research work is to propose a wastewater treatment system effluent of the Pesillo community, Olmedo parish, this in order to solve the current problem pollution of the water resource because it is a collective problem due to the fact that other communities downstream use the same stream of water for irrigation activities, watering holes, etc. In order to know whether the proposed treatment would be appropriate for the type of wastewater of Pesillo, the biodegradability index was first determined, of which an average rate of 0.41 was obtained by concisely establishing that biological treatment by activated sludge proposed in this research is in line with the type of wastewater to be treated. Being a domestic wastewater to be treated, a composite sampling was applied for a week getting to know the real characteristics of wastewater, with the analyses obtained, the PTAR was sized generating the design of the units according to their type of wastewater, future population and flow. As well as part of the research, laboratory-scale treatability testing was performed with sludge activated to know sludge rates, to do this, it was aerated for 24 hours to ensure that the system remains aerobic during the test. Thus, the COD parameter will drop from 1101 mg/L to 117 mg/L. The dimensions of the treatment units were used to design the general schema of the PTAR for the Pesillo community, the planes display the ingress channel, screen, grease trap, primary and secondary sedimentator, aerator tank, chlorination tank and the drying bed.

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ABREVIATURAS

GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
COA	Código Orgánico del Ambiente
LORHUyA	Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
SAE	Servicio de Acreditación Ecuatoriano
UPS	Universidad Politécnica Salesiana
m.s.n.m	Metros Sobre el Nivel del Mar
°C	Grado Centígrado
mL	Mililitro
L	Litro
μm	Micrómetros
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
mg	Miligramo
O ₂	Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
OD	Oxígeno Disuelto
pH	Potencial de Hidrógeno
POR	Potencial de Óxido Reducción
N	Nitrógeno
P	Fosforo
MO	Materia Orgánica

T	Temperatura
N°	Número
NMP	Número Más Probable
NTU	Unidad Nefelométrica de Turbidez
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología en Hidrología
ST	Sólidos Totales
SST	Sólidos Suspendidos Totales
SSed	Sólidos Sedimentables
hab	Habitantes
m ³	Metro Cúbico
m ²	Metro Cuadrado
m	Metro
cm	Centímetro
°	Grados
s	Segundo
s ²	Segundo Cuadrado
g	Gramos
cm ³	Centímetro Cúbico
hr	Hora
min	Minutos
Kg	Kilogramo
d	Día
SSV	Sólidos Suspendidos Volátiles

HP	Caballo de Fuerza
°K	Grados Kelvin
KJ	Kilojoules
atm	Atmósfera
kw	Kilovatio
mV	Millivoltio
Θ	Tiempo de retención
Θ_c	Edad de lodos o tiempo promedio de retención celular
X	Concentración de biomasa en el reactor

1. INTRODUCCIÓN

La industrialización, la expansión urbanística, los nuevos estándares de la vida moderna y la agricultura extensiva han dado lugar a una enorme generación de agua residual. El vertido de estas aguas residuales ha ido contaminando los cuerpos de agua por los diversos usos a los que ha sido sometida.

En el territorio nacional en el año 2016, se determinó que las alteraciones ambientales se dieron por la polución del agua, la desertificación de los bosques y por acción de la minería. Dichas afectaciones son mencionadas como las más importantes por el 41,7% de los GAD provinciales (INEC, 2016). Como se denota el mayor porcentaje de afectación ambiental es por contaminación de agua, esto refleja que Ecuador no dispone de una correcta disposición final del agua residual. El 43,8% de los GAD Municipales disponen el agua residual tratada en los ríos; el 30,3% en quebradas y el restante en acequias de riego, canal, mar, entre otros (INEC, 2016).

En el caso de la Parroquia Olmedo, el 14,66% de las viviendas tienen alcantarillado, especialmente en el centro poblado, mientras que las comunidades cuentan con sistemas de tratamiento de aguas deficientes o no cuentan con dichos sistemas de tratamiento (GAD Pichincha, 2012). Por lo tanto, el tratamiento de aguas residuales es imprescindible para minimizar el impacto contaminante sobre el medio ambiente., así como también el de evitar otros efectos negativos a las comunidades y parroquias que son usuarias de los cuerpos de agua a los que se descargan los efluentes líquidos.

Las aguas residuales producto de diversas actividades domésticas e industriales deben ser tratadas antes de su vertido a los cuerpos de agua receptores.

Actualmente, la comunidad de Pesillo no posee un sistema de tratamiento de aguas residuales que funcione correctamente debido a que el sistema que poseen ya colapsó y lo único

que hacen los efluentes generados es pasar a través de este sistema sin ser tratados. Esto se convierte en una grave preocupación debido a que se descargan las aguas residuales de toda la comunidad directamente a cuerpos de agua dulce, alterando la calidad de agua por los productos contaminantes y pueden producir enfermedades a las comunidades asentadas aguas abajo debido a los patógenos presentes.

En el presente trabajo experimental se realizará el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para la comunidad de Pesillo parroquia Olmedo por medio del método convencional de lodos activados para cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en la normativa ambiental nacional y así controlar el problema de contaminación presente, así como también el de evitar otros efectos negativos tanto a la comunidad como al medio ambiente.

Además, se realizarán los respectivos análisis al agua residual generada en la comunidad, evaluando los parámetros fisicoquímicos pertinentes para poder dimensionar la planta de tratamiento acorde a la realidad de la calidad de los efluentes generados.

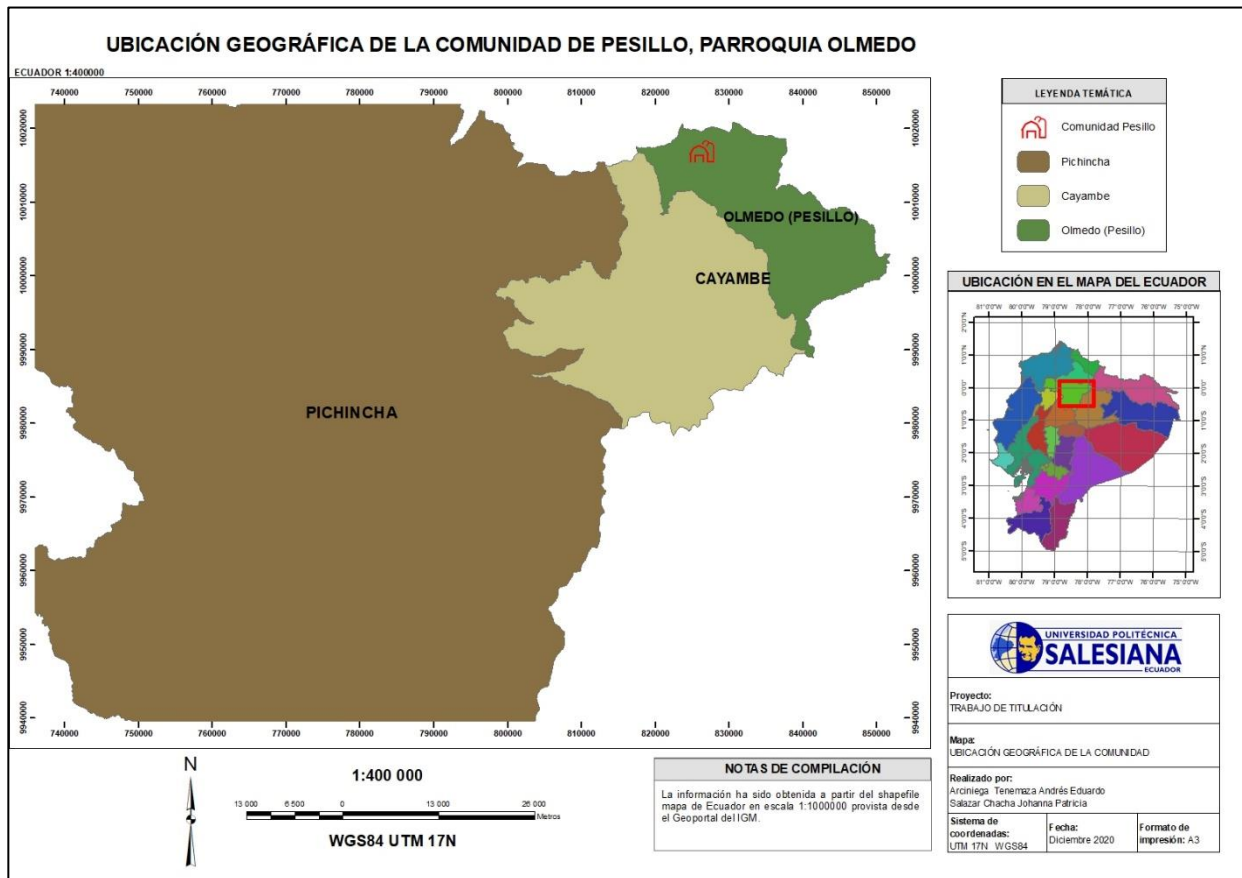
El método de lodos activados es uno de los métodos mayormente utilizados a nivel mundial para el tratamiento de aguas residuales. Siendo su principio primordial el uso de organismos microbianos los cuales por medio del sistema de aireación estarán en contacto con el agua residual, generando la degradación de la MO (Herrera et al., 2007).

La comunidad de Pesillo se localiza al nororiente de la provincia de Pichincha en el cantón Cayambe parroquia Olmedo. En las faldas del nevado Cayambe a una altitud de 3000 a 3400 m.s.n.m, donde se encuentran generalmente las comunidades de Turucucho, Pesillo, La Chimba y San Pablo Urco (GAD Olmedo, 2014).

Se puede visualizar la ubicación geográfica de la comunidad en la Figura 1 con respecto a la provincia de Pichincha.

Figura 1

Mapa Geográfico de la Comunidad de Pesillo



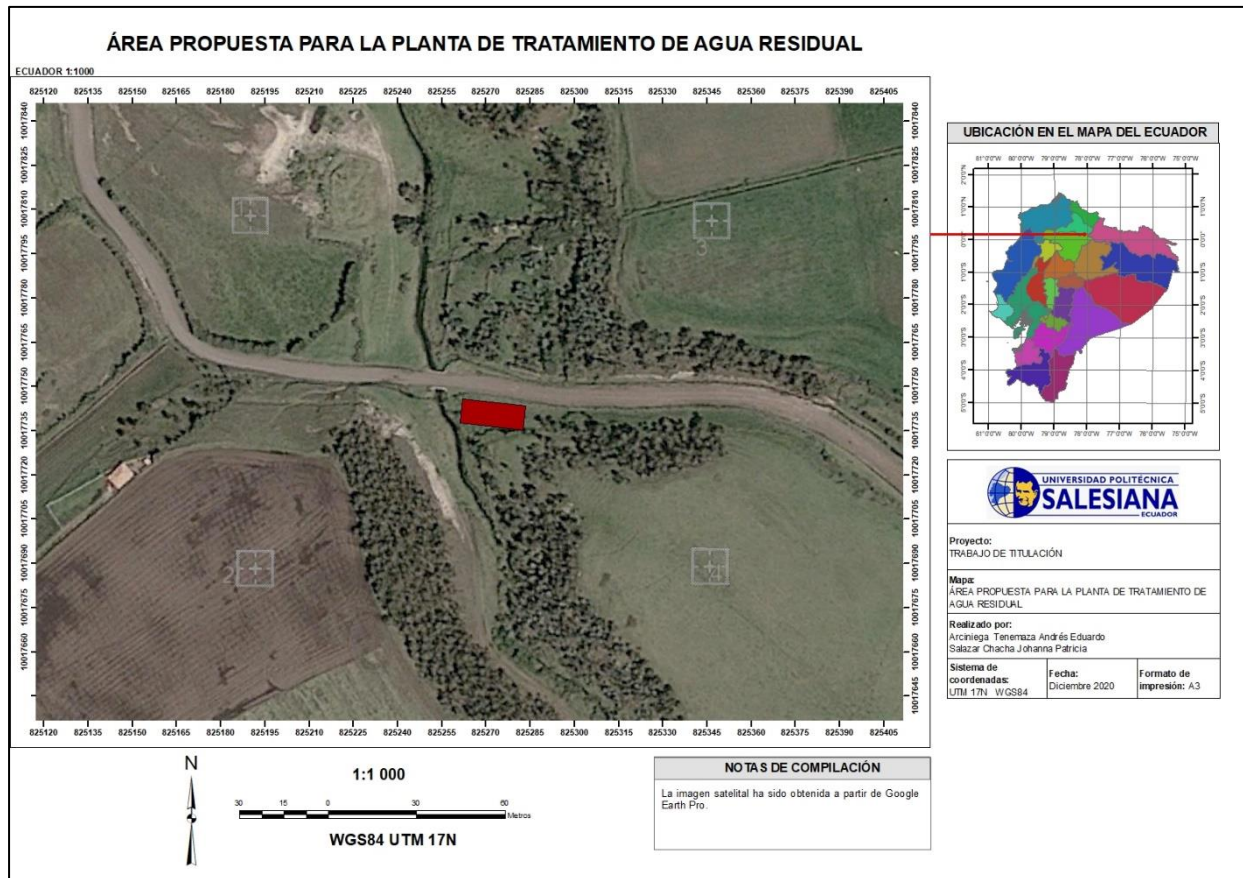
Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

El diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados tendrá un tiempo de duración de seis meses.

Dentro de la delimitación sectorial la planta de tratamiento de aguas residuales estará ubicada en la parroquia de Olmedo, Cantón Cayambe, comunidad Pesillo. En la Figura 2 se ilustra el área propuesta para la construcción de la PTAR.

Figura 2

Localización de la PTAR



Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

La ejecución del presente trabajo experimental en lo que respecta a la delimitación institucional está constituido para la competencia económica por parte del Municipio de Cayambe, ya que otorgan el presupuesto participativo, para el otorgamiento del territorio la competencia está a cargo del gobierno comunitario de Pesillo la cual es el ente jurídico regulador de los predios, como administrador se encuentra la Junta de Agua Potable y Alcantarillado de Pesillo, como autor intelectual y proponente la Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito, Campus Sur, y como beneficiarios directos los habitantes de la comunidad Pesillo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

- Diseñar la planta de tratamiento de agua residual mediante lodos activados para la comunidad de Pesillo.

2.2. Objetivos Específicos

- Dimensionar las unidades de la planta de tratamiento de aguas residuales.
- Realizar pruebas de tratabilidad a escala de laboratorio con método de lodos activados para las muestras de agua residual tomadas de los efluentes de la comunidad de Pesillo.
- Realizar el estudio de sostenibilidad económico, técnico y social de la propuesta de diseño.

3. FUNDAMENTO TEÓRICO

3.1. Agua Residual

El agua residual resulta de la combinación de residuos tanto sólidos como líquidos, su acumulación genera la descomposición de la materia orgánica provocando gases fétidos. El origen de estas puede provenir de residencias, instituciones públicas y privadas, industrias, comunidades, comerciales de igual modo aguas subterráneas, superficiales y pluviales (López et al., 2017).

Las diferentes actividades del hombre sobrellevan que sea inevitable la generación del agua residual, estas en muchos de los casos son direccionadas a las alcantarillas con un sistema de alcantarillado (Romero, 2004).

En lugares donde no se cuenta con un sistema de alcantarillado el agua residual es vertida directamente a un cuerpo de agua. En la antigüedad esto no resultaba un mayor problema debido a la capacidad de autodepuración de los cuerpos de agua y puesto que estos derrames contenían menor carga orgánica y eran pequeños. Ahora el crecimiento poblacional e industrial ha creado que la capacidad de autodepuración de los cuerpos de agua sea limitada, dando lugar a la creación obligatoria de unidades de tratamiento de las aguas residuales (Lozano, 2012).

3.2. Tipos de Aguas Residuales

Existen distintos tipos de aguas residuales las cuales pueden ser diferenciadas por su origen y por sus características. Es de gran importancia conocer el tipo de agua residual dado que un manejo inadecuado va a suponer resultados perjudiciales, por ejemplo, en la salud pública y ecosistemas (Valdez & Vázquez, 2003).

A continuación, se describen las siguientes clasificaciones:

3.2.1. Aguas residuales domésticas

El agua residual doméstica es aquel residuo líquido que ha sido utilizado en domicilios, edificaciones, comerciales e instituciones. Esta resulta de la combinación de aguas negras y grises (Romero, 2004).

Su composición en general es de heces, orina, sólidos suspendidos grandes y pequeños, sólidos coloidales, contaminantes en solución y sobre todo de patógenos (Mara, 2003).

Ramalho (1996), menciona que la generación de nuevos productos y la accesibilidad de las personas al mercado la composición del agua residual domestica ha tenido un cambio debido al uso de productos de limpieza como detergentes sintéticos, etc.

3.2.2. Aguas residuales industrial

Con el desarrollo de las industrias este tipo de aguas industriales hoy en día demandan tratamientos complejos puesto que se ejecutan más procesos industriales para la transformación de la materia prima (Ramalho, 1996).

Al existir una gran variedad de industrias las características del agua residual van a variar significativamente debido a los diferentes procesos que cada industria tiene generando un porcentaje y residuos tanto sólidos como líquidos diferentes. Por consiguiente, estos residuos rompen el ciclo normal del ecosistema y la autodepuración de los cuerpos de agua por su toxicidad (Valdez & Vázquez, 2003). Siendo así necesario identificar en los procesos los residuos que genera una industria para determinar el tratamiento óptimo.

3.2.3. Aguas residuales municipales

Las aguas residuales municipales son aquellas que proceden de zonas urbanas y en algunos casos de zonas rurales, mediante sistemas de alcantarillado son orientadas a plantas para su tratabilidad (Lozano, 2012).

Según Mara & Cairncross (1990), este tipo de agua residual está compuesta de un 99% de agua y entre un 0.1% de sólidos disueltos, coloidales y suspendidos, compuestos orgánicos e inorgánicos además de macronutrientes y micronutrientes.

3.3. Calidad del Agua

Conocer la calidad en que se encuentra el agua es fundamental puesto que el agua es uno de los elementos con mayor importancia para todos los seres vivos debido a que es el solvente universal disolviendo la mayoría de las sustancias, es esencial para los distintos procesos biológicos que se dan en la naturaleza, ayuda a eliminar las sustancias producidas por el organismo entre otras funciones. Por el contrario, si su calidad no es óptima esta podría causar complicaciones a la salud pública e impactos ambientales debido a los contaminantes presentes. Para evitar esto se realizan los analices físicos, químicos y biológicos de los diferentes parámetros necesarios para conocer la calidad de agua y determinar si cumple con los criterios que cada actividad específica para su uso (Cánepa de Vargas et al., 2004).

3.4. Características de las Aguas Residuales

Para la elaboración de cualquier proyecto relacionado con el agua o el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales resulta indispensable conocer las características que tiene esa agua residual, por medio de esto se podrá establecer además el tipo de tratamiento adecuado (Metcalf & Eddy, 1998). A continuación, se presenta de manera detallada las características físicas, químicas y biológicas más relevantes.

3.4.1. Características físicas

3.4.1.1. Turbiedad

La turbiedad es uno de los parámetros a analizar y controlar puesto que refleja la calidad del agua, además que una menor turbiedad resulta favorable cuando hablamos de calidad estética

del agua. La turbiedad en el agua es ocasionada por sistemas coloidales que están suspendidas por causa de su magnitud lo que genera que la transparencia del agua sea mínima (Cánepa de Vargas et al., 2004).

Entre los que se puede mencionar la arcilla, compuestos orgánicos, materia orgánica e inorgánica, plancton y otros microorganismos (American Public Health Association et al., 1992).

El parámetro de turbiedad es una propiedad de transmisión de la luz en el que se compara la intensidad de luz que pasa por la muestra de modo que para conocer el grado de transparencia de una muestra se utiliza el turbidímetro el cual nos arroja el valor en unidades nefelométricas de turbiedad (Metcalf & Eddy, 1998).

3.4.1.2. Color

El color que se observa en el agua residual se produce por la presencia de varios elementos o procesos como, por ejemplo, la descomposición de restos vegetales, la presencia de residuos domésticos e industriales, la materia orgánica del suelo y compuestos como el manganeso y hierro (Cánepa de Vargas et al., 2004).

Dentro de este parámetro se tienen dos tipos de colores, el color aparente que se obtiene de manera directa de la muestra en donde se encuentran tanto los sólidos disueltos y suspendidos también tenemos el color verdadero el cual se consigue filtrando la muestra (American Public Health Association et al., 1992).

3.4.1.3. Olor

En especial este parámetro se considera importante debido a que este influye en la calidad de un proyecto por esta razón su control es esencial en plantas de tratamiento, evacuación del agua residual y redes de alcantarillado ya que este criterio motiva a la población a generar rechazo a un proyecto (Metcalf & Eddy, 1998).

En un agua residual su olor va a depender de compuestos tanto inorgánicos y orgánicos que estén presentes en el agua los cuales pueden ser de origen industrial, domestico, agrícola o natural (American Public Health Association et al., 1992).

3.4.1.4. Temperatura

Para mantener un ambiente óptimo para una actividad microbiana adecuada la temperatura se encontrará entre un rango de 25 a 35°C consiguiendo un buen desarrollo de los microorganismos (Romero, 2004).

3.4.1.5. Conductividad

Los sólidos inorgánicos disueltos son los que afectan a la conductividad del agua, este parámetro es de utilidad para conocer la calidad del agua por las concentraciones de sal presentes ya que así se conoce la capacidad de disolución de oxígeno porque mientras más salinidad menos oxígeno hay. Por ello es importante conocer la capacidad del agua para transportar corriente eléctrica (Levlin, 2010).

3.4.1.6. Sólidos

Es toda materia orgánica e inorgánica presente en el agua las cuales se consiguen sometiendo una muestra de agua residual a procesos de evaporación o secado a una temperatura y un volumen determinado. Estos pueden influir en las características físicas por ejemplo la turbiedad, color y olor (Cánepa de Vargas et al., 2004).

3.4.1.6.1. Sólidos totales

Son los sólidos que se los obtienen mediante un proceso de evaporación de una muestra a temperaturas de 103 – 105°C respectivamente (Metcalf & Eddy, 1998).

3.4.1.6.2. Sólidos sedimentables

Por acción de la gravedad las partículas van descendiendo en el fondo de un cono Imhoff que al cabo de una hora su medida expresada en ml/l indica la cantidad de lodo que se podrá remover por sedimentación primaria (Romero, 2004).

3.4.1.6.3. Sólidos disueltos

Estos son los sólidos que quedan en el agua después de haber filtrado una muestra están compuestos por sistemas coloidales y solubles estos tienen un tamaño de partícula menor a 1,2 μ m. Para su eliminación se realizan procesos de oxidación biológica o coagulación y sedimentación (Romero, 2004).

3.4.1.6.4. Sólidos suspendidos

Son los sólidos que después de un proceso de filtración son retenidos en el papel filtro cuyas partículas están conformadas por los sólidos no filtrados teniendo un tamaño de partícula mayor a 1,2 μ m (Romero, 2004).

3.4.2. Características químicas

3.4.2.1. Demanda bioquímica de oxígeno

El parámetro de DBO resulta uno de los más importantes a ser analizado debido a que se utiliza para medir la calidad del agua además nos indica la cantidad de oxígeno a ser necesario para que los microorganismos puedan oxidar la materia orgánica biodegradable presente en el agua todo esto en condiciones aerobias. El ensayo analítico para su determinación se lo realiza mediante la incubación de la muestra con microorganismos a una temperatura de 20°C y en un periodo de cinco días se tiene el resultado en unidades de mgO₂/L. Por otra parte, el resultado de los análisis va a servir para establecer el oxígeno necesario para que la materia orgánica se estabilice

biológicamente, dimensionar y conocer la eficacia de los procesos de tratamiento y controlar los vertidos (Metcalf & Eddy, 1998; Romero, 2004).

3.4.2.2. Demanda química de oxígeno

En aguas industriales, municipales y naturales que posean contaminantes tóxicos se realiza de igual forma el análisis de la DQO para conocer la cantidad de materia orgánica que está presente. Para la determinación de dicho parámetro se utiliza dicromato de potasio como oxidante fuerte, en un medio ácido que puede ser ácido sulfúrico y para favorecer la oxidación de la materia orgánica se utiliza sulfato de plata como catalizador. Todo esto se debe realizar a altas temperaturas que por lo general es de 150°C y por un periodo de dos horas, el resultado de la DQO puede ser mayor a la de la DBO debido a que se realiza oxidación química, sus unidades son mg/L (Metcalf & Eddy, 1998; Romero, 2004).

3.4.2.3. Oxígeno disuelto

La presencia de oxígeno disuelto en el agua es de gran importancia puesto que es indispensable para la vida acuática y para los microorganismos aerobios, siendo un indicador de la calidad de agua, además que la capacidad de autodepuración de un cuerpo de agua se va a ver afectada por la ausencia de oxígeno disuelto dando lugar así a la creación de unidades de tratamiento. Para procesos biológicos aerobios resulta necesario un suministro de oxígeno y una concentración de OD apropiado para su dimensionamiento y correcta operación. Como muestra en proceso de lodos activados se debe tener el oxígeno necesario para una buena actividad microbiana (Romero, 2004).

3.4.2.4. Grasas y aceites

La presencia de concentraciones altas de grasas y aceites puede originar efectos negativos en el mantenimiento de las unidades de tratamiento y complicar la actividad biológica. En su mayor

parte en su composición se tiene carbono, hidrógeno y oxígeno. Estos se originan de vertidos domésticos, mataderos, lavanderías y entre otras industrias, según la actividad se va a tener altas o bajas cargas de grasas emulsificadas (Romero, 2004).

3.4.2.5. Potencial de hidrógeno

El valor de pH resulta importante para una adecuada tratabilidad del agua residual debido a que este interfiere en diferentes procesos, por lo cual un rango de 6,5 a 8,5 es recomendable para el tratamiento biológico puesto que podrá existir un incremento de la vida biológica y una correcta proliferación (Metcalf & Eddy, 1998).

3.4.2.6. Potencial de óxido reducción

Para conocer si el agua se encuentra en condiciones anaerobias o aerobias se emplea el análisis del potencial de óxido reducción el cual determina la cantidad de materia que se está oxidando o reduciendo (Romero, 2004).

3.4.2.7. Nitrógeno y fosforo

Estos dos elementos nutritivos contribuyen al desarrollo de microorganismos y algas, en cantidades elevadas estos provocan el crecimiento de algas dando como resultado la eutrofización, la contaminación del agua y de la vida acuática presente. El uso de fertilizantes y detergentes son el principal motivo por el cual se originan estos dos elementos en el agua. Por lo tanto, su determinación es esencial para conocer su concentración debido a que se podrá conocer si un tratamiento biológico va a ser factible o si se tendrá que agregar nitrógeno al agua residual para cumplir con el propósito de tratabilidad (Martín et al., 2006; Metcalf & Eddy, 1998).

3.4.3. Características biológicas

En el agua residual existen varias formas de microorganismos capaces de transformar, descomponer o fermentar la materia orgánica y servir como indicadores. Como señala Valencia

López (2013), los microorganismos que se utilizan como indicadores de la calidad de agua son los coliformes fecales debido a que son organismos patógenos numerosos y se detectan con facilidad, el ser humano genera diariamente en sus excretas entre 10^9 y 4×10^{11} coliformes, también se presentan otros organismos patógenos que pueden causar enfermedades indicados en la Tabla 1.

Tabla 1

Patógenos Comunes Transportados por el Agua

Organismos Patógenos	
Bacterias	<i>Escherichia coli</i> , <i>Campylobacter jejuni</i> , <i>Salmonella</i> , <i>Shigella</i> , <i>Vibrio cholerae</i> , <i>Yersinia enterocolitica</i> .
Virus	<i>Adenovirus</i> , <i>Enterovirus</i> , <i>Rotavirus</i> .
Protozoos	<i>Entamoeba histolytica</i> , <i>Balantidium coli</i> , <i>Giardia</i> , <i>Cryptosporidium</i> .
Helminthos	<i>Ascaris</i> , <i>Trichuris</i> , <i>Taenia</i> .
Cyanobacterias	<i>Anabaena</i> , <i>Microcystis</i> .

Nota. Tomado de Cánepa de Vargas et al., (2004).

3.5. Tratamientos de Aguas Residuales

3.5.1. Índice de biodegradabilidad

Las aguas residuales tienen distintos niveles de biodegradabilidad dependiendo de su origen, ya que están conformadas por un amplio espectro de compuestos orgánicos lo cual afecta a las características naturales del agua como sus propiedades físicas (Pire et al., 2011).

Para diseñar adecuadamente un sistema de tratamiento de aguas residuales hay que tomar en cuenta el índice de biodegradabilidad el cual es la relación DBO_5/DQO , este nos indica que tan biodegradable es el agua residual para tratar, si el tipo de agua residual es poco biodegradable no

sería factible realizar un sistema de tratamiento biológico debido a que en ese tipo de agua no viven bacterias y se tiene tóxicos presentes. A continuación, se indican los índices de biodegradabilidad:

Tabla 2

Relación entre DBO₅ y DQO

	Poco biodegradable	Biodegradable	Muy biodegradable
DBO ₅ /DQO	< 0,2	0,2 – 0,4	>0,4

Nota. Tomado de Martínez, (2010).

3.5.2. Sistemas de tratamiento por contaminantes presentes en el agua

En la Tabla 3, se detallan los contaminantes presentes en el agua residual con sus respectivas operaciones o procesos unitarios que se utilizan.

Tabla 3

Tratamiento de Aguas Residuales

Contaminantes	Operación unitaria, proceso unitario o sistema de tratamiento
Sólidos en suspensión	Desbaste y dilaceración
	Desarenado
	Sedimentación
	Filtración
	Flotación
	Adición de polímeros
Materia orgánica biodegradable	Coagulación/sedimentación
	Sistemas naturales (tratamiento por evacuación al terreno)
	Variantes de fangos activados
	biodegradable Película fija: filtros percoladores
	Película fija: biodiscos. (RBC)
	Variantes del lagunaje
	Filtración intermitente en arena
	Sistemas físico-químicos

Contaminantes	Operación unitaria, proceso unitario o sistema de tratamiento
Compuestos orgánicos volátiles	Sistemas naturales
	Arrastre por aire
	Tratamiento de gases
	Adsorción en carbón
	Cloración
Patógenos	Hipocloración
	Cloruro de bromo
	Ozonación
	Radiación UV
Nutrientes: Nitrógeno	Sistemas naturales
	Variantes de sistemas de cultivo en suspensión con nitrificación y desnitrificación
	Variantes de sistemas de película fija con nitrificación y desnitrificación
	Arrastre de amoníaco
	Intercambio iónico
	Cloración al breakpoint
	Sistemas naturales
	Adición de sales metálicas
	Coagulación y sedimentación con cal
	Eliminación biológica del fósforo
Fósforo	Eliminación biológica-química del fósforo
	Sistemas naturales
	Eliminación biológica de nutrientes
Materia orgánica refractaria	Adsorción en carbón
	Ozonación terciaria
	Sistemas naturales
Metales pesados	Precipitación química
	Intercambio iónico
	Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno

Contaminantes	Operación unitaria, proceso unitario o sistema de tratamiento
Sólidos orgánicos disueltos	Intercambio iónico
	Osmosis inversa
	Electrodialisis

Nota. Adaptado de Metcalf & Eddy, (1998).

3.5.3. Pretratamiento

El pretratamiento de las aguas residuales tiene como finalidad remover aquellos constituyentes que pudieran generar problemas de mantenimiento y funcionamiento en los posteriores procesos como obstrucción de equipos y desgaste de estos, es decir, ayuda a preparar el agua para los tratamientos posteriores (Metcalf & Eddy, 1998). Como ejemplos de pretratamientos tenemos los siguientes detallados a continuación:

3.5.3.1. Desbaste

Lo que se pretende es eliminar los sólidos gruesos presentes en el agua residual por medio de la retención en la superficie mediante dispositivos como rejillas o tamices que pueden estar compuestos de alambres, barras o telas metálicas (Metcalf & Eddy, 1998).

3.5.3.2. Dilaceración

En este pretratamiento se trituran los sólidos gruesos hasta lograr un tamaño medianamente uniforme con lo cual se previenen posibles problemas de funcionamiento en los tratamientos posteriores (Metcalf & Eddy, 1998).

3.5.3.3. Desarenado

Usualmente van luego del desbaste y la dilaceración, debido a que separan arenas, cenizas y gravas para proteger equipos mecánicos de la abrasión y desgaste, así como para reducir la acumulación al interior de tuberías y canales (Metcalf & Eddy, 1998).

3.5.4. Tratamientos primarios

Este tipo de tratamiento remueve parcialmente materia orgánica, organismos patógenos o sólidos suspendidos, en el caso de los sólidos suspendidos remueve alrededor del 60% del agua residual cruda y de una 35 a un 40% de la DBO (Romero, 2004). Dentro del tratamiento primario se realizan operaciones físicas tales como:

3.5.4.1. Flotación

Es una operación unitaria en la cual se separan sólidos dispersos y líquidos inmiscibles suspendidos en el agua mediante la introducción de burbujas finas de aire, de esta manera ascienden dichas partículas a la superficie para que puedan ser removidas de manera más sencilla (Forero et al., 1999).

3.5.4.2. Sedimentación

Es una de las operaciones unitarias mayormente empleadas en el tratamiento de aguas residuales, debido a que separa por gravedad los sólidos sedimentables del agua obteniendo efluentes clarificados en la mayoría de los casos, pero así también se producen fangos concentrados (Metcalf & Eddy, 1998).

3.5.4.3. Coagulación

La coagulación se logra añadiendo coagulantes químicos al agua residual que generalmente tiene partículas de carga (-) lo cual favorece la formación de micro flóculos por medio de la reducción de la carga eléctrica de las partículas suspendidas (Trujillo et al., 2014).

3.5.5. Tratamientos secundarios

El tratamiento secundario de aguas residuales se enfoca en la separación de los sólidos suspendidos y de compuestos orgánicos biodegradables mediante procesos biológicos y químicos,

algunas veces se incluye la desinfección en esta etapa de tratamiento secundario (Metcalf & Eddy, 1998). En este tipo de tratamiento secundario se incluyen los siguientes procesos:

3.5.5.1. Lodos activados

Es un proceso aerobio el cual consiste en una aglomeración de microorganismos compuestos de MO muerta y compuestos inorgánicos, en la cual las bacterias son los microorganismos primordiales en el método de lodos activados, debido a que son responsables de estabilizar la materia orgánica y formar flóculos de lodo activo (Romero, 2004).

3.5.5.2. Filtros percoladores

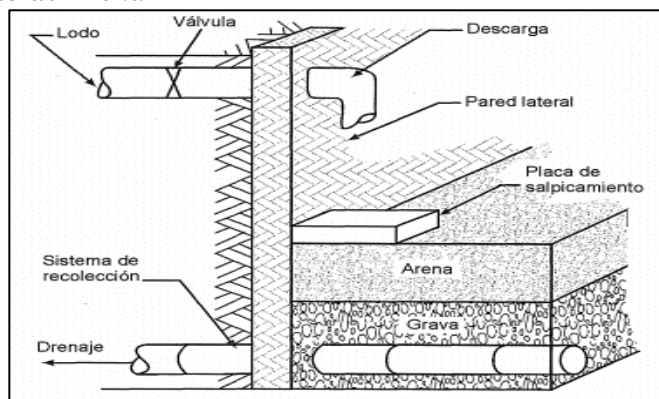
Son lechos compuestos por medios permeables a los cuales se adhieren microorganismos y a través de estos percola el agua residual, reduciendo la carga orgánica de la misma (Metcalf & Eddy, 1998).

3.5.5.3. Lecho de secado

Es un método de deshidratación del agua presente en el lodo suficiente para que lo restante se pueda manejar como material sólido, con humedad debajo del 70% y se facilite su gestión (Romero, 2004). A continuación, se indica el esquema típico de un lecho de secado:

Figura 3

Lecho Típico de Secado de Arena



Nota. Tomado de Romero, (2004).

3.5.6. Tratamientos terciarios

En este tratamiento se emplean procesos adicionales combinados y operaciones unitarias que tienen como objetivo remover componentes como el N y P para prevenir la eutrofización del agua en la cual los tratamientos secundarios no fueron suficientes para removerlos (Metcalf & Eddy, 1998). Como ejemplos de tratamientos terciarios tenemos:

3.5.6.1. Precipitación química

Consiste en la adición de productos químicos al agua residual con el objetivo de modificar el estado físico de los sólidos disueltos y suspendidos presentes, y así poder facilitar su eliminación (Metcalf & Eddy, 1998).

3.5.6.2. Intercambio iónico

Es un proceso en el cual los iones de diferentes especies se intercambian por iones de una especie diferente que se encuentran sobre la materia insoluble (Metcalf & Eddy, 1998).

3.5.6.3. Adsorción

Consiste en la concentración de un soluto en la superficie de un sólido, la interfase puede hallarse entre líquido y sólido, generalmente el tratamiento de agua residual con carbón activado es el más empleado ya que elimina materia orgánica disuelta (Ramalho, 1996).

3.6. Lodos Activados

La base de un tratamiento biológico de aguas residuales consiste en la capacidad que poseen los microorganismos para metabolizar y transformar la materia orgánica suspendida y disuelta en nuevo tejido celular y distintos gases (Varila & Díaz, 2008).

El tratamiento de aguas residuales por medio de lodos activados es un tratamiento secundario biológico de mezcla completa aerobio, provisto de un sistema de recirculación y eliminación de lodos, dentro del cual los protozoos y las bacterias abundan, pero esto puede ser

variable debido al oxígeno, ya que este determina el tipo de microorganismos que se encargarán de degradar y eliminar la MO presente en el agua residual (Romero, 2004).

Dentro de los lodos la población microbiana es diversa y se encuentran generalmente bacterias, hongos, metazoos pequeños y protozoos, siendo las bacterias las más importantes debido al papel que desempeñan en la estabilización de la MO y formación de flocs (Borja & Almeida, 2015).

Según Borja & Almeida (2015), la población de microorganismos en los lodos activados depende de varios factores como lo son:

- Concentración de lodos
- Condiciones ambientales como la agitación y T
- Composición del agua a tratar
- Tiempo de aireación

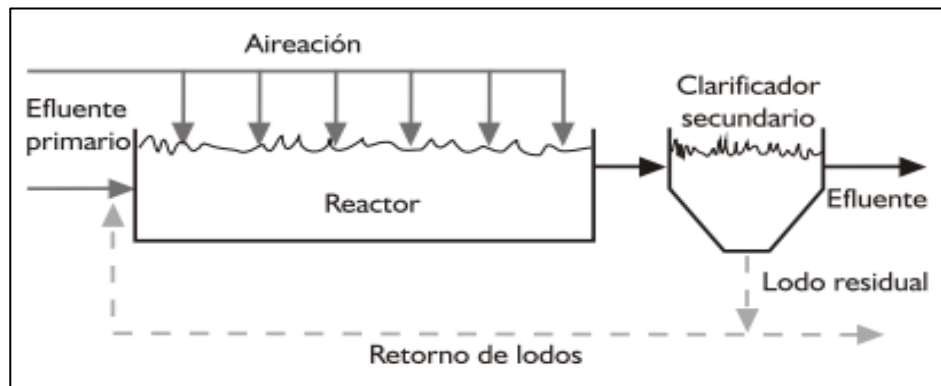
Los flocs biológicos formados en el proceso de lodos activados son sedimentados en un tanque dispuesto para este fin, posterior a esto se recirculan a un tanque provisto con un sistema de aireación mecánico en el que se emplean aireadores los cuales ayudan a que los microorganismos se mezclan de manera completa con la materia orgánica presente en el agua residual (Hreiz et al., 2015).

Según Alviz & Cueto (2012), las unidades principales para una planta convencional de tratamiento se conforman de: clarificadores, tratamiento biológico, desinfección y secado de lodos, las cuales son primordiales para la eliminación de sólidos y, por ende, para la disminución de la DBO del agua residual a tratar.

La base para el tratamiento convencional mediante lodos activados se representa en el siguiente esquema de flujo de proceso:

Figura 4

Esquema del Proceso de Lodos Activado Convencional



Nota. Tomado de Metcalf & Eddy, (1998).

El tratamiento biológico del agua residual tiene como finalidad reducir la MO presente y eliminar nutrientes como el N y P (Metcalf & Eddy, 1998). Es por esta razón que el tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados es una alternativa eficiente e ideal para tratar aguas residuales municipales y domésticas.

3.7. Marco Legal Aplicable

El marco legal aplicable que justifica la presente propuesta de una Planta de Tratamiento de aguas residuales se indica a continuación de manera jerárquica de acuerdo con la Pirámide de Kelsen.

3.7.1. Constitución de la República del Ecuador

Publicada en el Registro Oficial N° 499 de 20 de octubre del 2008.

Título II: Derechos:

Capítulo sexto: Derechos de libertad

Art. 66.- Se reconoce y garantizará a las personas: 27. El derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza (Constitución de la República del Ecuador, 2008, p. 50).

Capítulo séptimo: Derechos de la naturaleza

Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de Indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados (Constitución de la República del Ecuador, 2008, p. 52).

Título VII: Régimen del buen vivir:

Capítulo primero: Inclusión y equidad

Sección sexta: Agua

Art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua (Constitución de la República del Ecuador, 2008, p. 182).

3.7.2. Código orgánico ambiental

Publicada en el Registro Oficial N° 983 de 12 de abril del 2017.

Libro tercero: De la calidad ambiental

Capítulo V: Calidad de los componentes abióticos y estado de los componentes bióticos

Art 196.- Tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales deberán contar con la infraestructura técnica para la instalación de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas

residuales urbanas y rurales, de conformidad con la ley y la normativa técnica expedida para el efecto. Asimismo, deberán fomentar el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización, siempre y cuando estas recuperen los niveles cualitativos y cuantitativos que exija la autoridad competente y no se afecte la salubridad pública. Cuando las aguas residuales no puedan llevarse al sistema de alcantarillado, su tratamiento deberá hacerse de modo que no perjudique las fuentes receptoras, los suelos o la vida silvestre. Las obras deberán ser previamente aprobadas a través de las autorizaciones respectivas emitidas por las autoridades competentes en la materia (COA, 2017, pp 55-56).

3.7.3. Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua

Registro Oficial N° 305, Asamblea Nacional República del Ecuador, Quito, 6 de agosto del 2014.

Título II: Recursos hídricos

Capítulo I: Definición, infraestructura y clasificación de los recursos hídricos

Artículo 12.- Protección, recuperación y conservación de fuentes. El Estado, los sistemas comunitarios, juntas de agua potable y juntas de riego, los consumidores y usuarios, son corresponsables en la protección, recuperación y conservación de las fuentes de agua y del manejo de páramos, así como la participación en el uso y administración de las fuentes de aguas que se hallen en sus tierras, sin perjuicio de las competencias generales de la Autoridad Única del Agua de acuerdo con lo previsto en la Constitución y en esta Ley. La Autoridad Única del Agua, los Gobiernos Autónomos Descentralizados, los usuarios, las comunas, pueblos, nacionalidades y los propietarios de predios donde se encuentren fuentes de agua,

serán responsables de su manejo sustentable e integrado, así como de la protección y conservación de dichas fuentes, de conformidad con las normas de la presente Ley y las normas técnicas que dicte la Autoridad Única del Agua, en coordinación con la Autoridad Ambiental Nacional y las prácticas ancestrales. El Estado en sus diferentes niveles de gobierno destinará los fondos necesarios y la asistencia técnica para garantizar la protección y conservación de las fuentes de agua y sus áreas de influencia...(LORHUyA, 2014, p. 6).

3.7.4. Ley orgánica de salud

Registro Oficial N° 423, Congreso Nacional, 22 de diciembre del 2006, con última modificación el 18 de diciembre del 2015.

Capítulo III: Derechos y deberes de las personas y del Estado en relación con la salud

Art. 7.- Toda persona, sin discriminación por motivo alguno, tiene en relación a la salud, los siguientes derechos: c) Vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación; (Ley Orgánica de Salud, 2015, p. 4).

Capítulo II: De los desechos comunes, infecciosos, especiales y de las radiaciones ionizantes y no ionizantes

Art. 102.- Es responsabilidad del Estado, a través de los municipios del país y en coordinación con las respectivas instituciones públicas, dotar a la población de sistemas de alcantarillado sanitario, pluvial y otros de disposición de excretas y aguas servidas que no afecten a la salud individual, colectiva y al ambiente; así como de sistemas de tratamiento de aguas servidas (Ley Orgánica de Salud, 2015, pp. 19-20).

Art. 103.- Se prohíbe a toda persona, natural o jurídica, descargar o depositar aguas servidas y residuales, sin el tratamiento apropiado, conforme lo disponga en el reglamento correspondiente, en ríos, mares, canales, quebradas, lagunas, lagos y otros sitios similares. Se prohíbe también su uso en la cría de animales o actividades agropecuarias (Ley Orgánica de Salud, 2015, p. 20).

3.7.5. Acuerdo N° 061: reforma del libro VI del texto unificado de legislación secundaria

Registro oficial Órgano del Gobierno del Ecuador, Año II, N°316, 4 de mayo de 2015.

Capítulo VIII: Calidad de los componentes Bióticos y abióticos

Sección III: Calidad de componentes abióticos

Parágrafo I del agua

Art. 210 Prohibición. - De conformidad con la normativa legal vigente: b) Se prohíbe la descarga y vertido que sobrepase los límites permisibles o criterios de calidad correspondientes establecidos en este Libro, en las normas técnicas o anexos de aplicación. c) Se prohíbe la descarga y vertidos de aguas servidas o industriales, en quebradas secas o nacimientos de cuerpos hídricos u ojos de agua (Acuerdo N° 061, 2015, p. 47).

3.7.6. Acuerdo 097A reforma del texto unificado de legislación secundaria

Registro Oficial N°387, Año III, Ministerio del Ambiente, 4 de noviembre del 2015.

La norma tiene como fin prevenir y controlar la contaminación ambiental, en lo referente al agua cuyo principio es salvaguardar la calidad de la misma para preservar los usos establecidos, ecosistemas y el medio ambiente en general (Acuerdo 097A, 2015).

Anexo 1 del libro VI del texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del ambiente: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua

Tabla 4*Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce*

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas	Sust. Solubles en hexano	mg/L	30,0
Alkil mercurio		mg/L	No detectable
Aluminio	Al	mg/L	5,0
Arsénico total	As	mg/L	0,1
Bario	Ba	mg/L	2,0
Boro total	B	mg/L	2,0
Cadmio	Cd	mg/L	0,02
Cianuro total	CN	mg/L	0,1
Cinc	Zn	mg/L	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/L	0,5
Cloroformo	Ext. Carbón cloroformo ECC	mg/L	0,1
Cloruros	Cl	mg/L	1000
Cobre	Cu	mg/L	1,0
Cobalto	Co	mg/L	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100mL	2000
Color real	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/L	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/L	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	200
Estaño	Sn	mg/L	5,0
Fluoruros	F	mg/L	5,0

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Fósforo Total	P	mg/L	10,0
Hierro total	Fe	mg/L	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/L	20,0
Manganeso total	Mn	mg/L	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/L	0,005
Níquel	Ni	mg/L	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/L	30,0
Nitrógeno Total Kjedahl	N	mg/L	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/L	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/L	0,1
Plata	Ag	mg/L	0,1
Plomo	Pb	mg/L	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/L	0,1
Sólidos Suspendedos Totales	SST	mg/L	130
Sólidos totales	ST	mg/L	1600
Sulfatos	SO ₄	mg/L	1000
Sulfuros	S	mg/L	0,5
Temperatura	°C		Condición natural ± 3
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/L	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/L	1,0

Nota. Tomado de Acuerdo 097A, (2015).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Materiales

Para el muestreo, análisis y preservación de las muestras de agua residual se utilizaron materiales adecuados para no alterar la naturaleza de estas, basándose en la norma INEN 2169. A continuación, se enlistan los materiales utilizados para la etapa de muestreo in-situ y su posterior análisis en laboratorio.

Tabla 5

Materiales Empleados en la Etapa de Muestreo In Situ

Material	Tipo	Capacidad
Frascos estériles	Plástico	12mL
Probeta graduada	Plástico	1000mL
Balde	Plástico	4L
Botellas	Plástico	6L y 1L
Guantes	Nitrilo	-
Mascarilla	Quirúrgica	-
Protector facial	Plástico	-
Cooler	Plástico	-
Bolsas para congelar	Gel	-
Overol	Antifluído	-
Botas	Caucho	-
Etiquetas	Adhesivas	-
Embudo	Plástico	-

Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

Tabla 6

Materiales Empleados en la Etapa de Análisis de Laboratorio

Material	Tipo	Capacidad
Cono de Imhoff	Plástico	1000mL

Material	Tipo	Capacidad
Jeringa	Plástico	1mL
Pipeta graduada	Vidrio	10mL
Crisol	Porcelana	125mL
Probeta graduada	Vidrio	1000mL
Vaso de precipitado	Vidrio	1400mL
Piseta	Plástico	500mL
Botellas para DBO	Vidrio ámbar	500mL
Desecador	Vidrio	14L
Filtros	Papel	45um
Propipeta	Plástico	-
Varilla de agitación	Vidrio	-
Espátula	Metálica	-

Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

4.2. Equipos

Los equipos empleados fueron dotados por la Universidad Politécnica Salesiana, los cuales fueron previamente inspeccionados por el encargado del laboratorio para comprobar que estos se encuentren calibrados y en condiciones óptimas para su uso. Además, para el análisis in-situ se comprobó que los equipos a emplearse cuenten con la batería necesaria para su correcto funcionamiento.

Tabla 7

Equipos Empleados en el Análisis In Situ

Equipo	Marca	Modelo
Medidor portátil de oxígeno disuelto	Horiba Scientific LAQUA	OM-71
Medidor Impermeable de pH / ORP y temperatura	Hanna Instruments	HI 98121
Turbidímetro	Orbeco Hellige	TB200

Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

Tabla 8

Equipos Empleados en el Análisis de Laboratorio

Equipos/Reactivos	Marca	Modelo
Fotómetro multiparamétrico con DQO	Hanna Instruments	HI83399
Medidores impermeables de pH, CE/TDS y temperatura	Hanna Instruments	HI 98130
Digestor DQO	SCP Science DigiPrepCube	F10SA0109
Incubadora DBO	Velp Scientifica	FTC 90E
Sensores DBO	Velp Scientifica	Sensor System 6
Balanza analítica	Mettler Toledo	ML-204
Estufa	Memmert	INB 500
Viales DQO	Hanna Instruments	HI 93754C-0
Reactivo para nitratos	Hanna Instruments	HI 93728-0
Reactivo para nitritos	Hanna Instruments	HI 93708-0
Reactivo para fosfatos	Hanna Instruments	HI 93717A-0 HI 93717B-0
Equipo filtración	KimLab	JingTeng

Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

4.3. Metodología

4.3.1. Metodología empleada in-situ

4.3.1.1. Muestreo

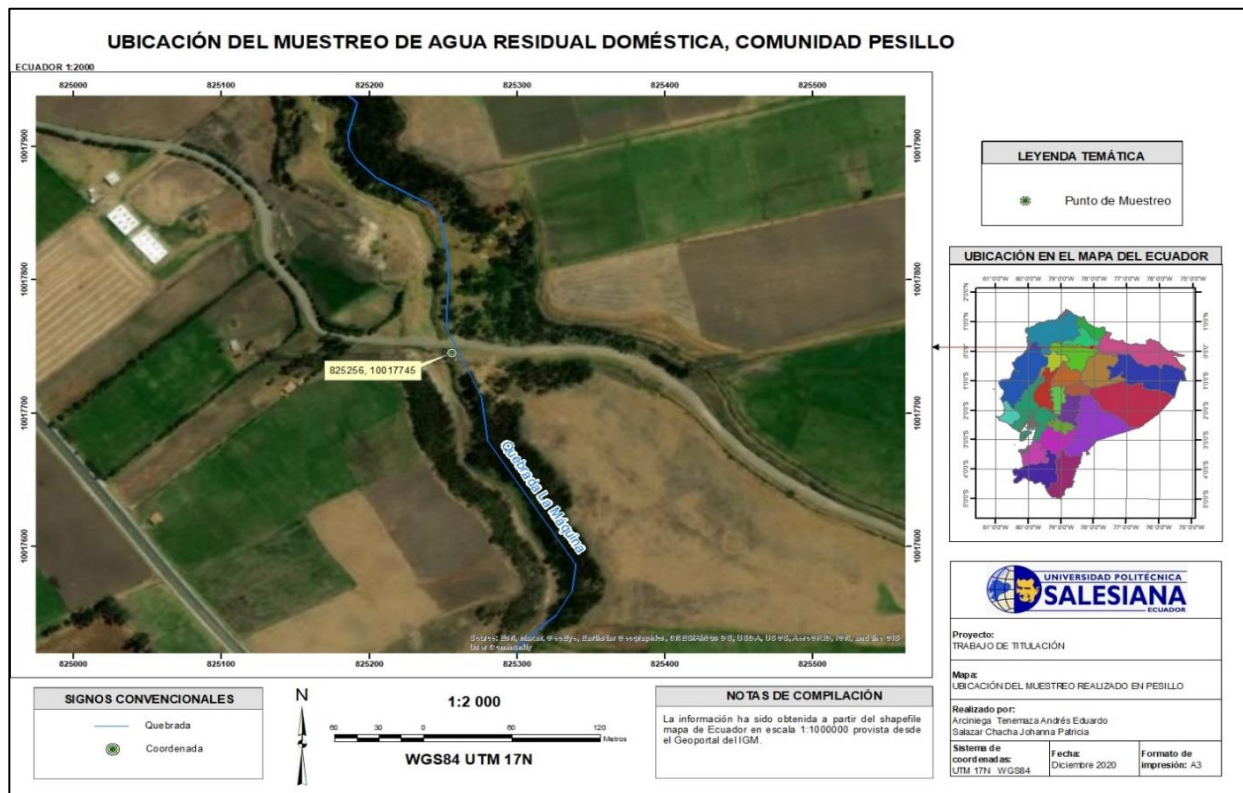
Se consideró que el método de muestreo más conveniente es un muestreo compuesto debido a que los efluentes de aguas residuales de la comunidad de Pesillo no son constantes, y dependiendo del día de la semana las características del agua residual pueden variar. Por ello, se realizaron 7 muestras distintas, una en cada día de la semana.

Como es un muestreo compuesto se tomaron 4 alícuotas cada hora durante 4 horas, las cuales formarán una muestra compuesta de 6 L de agua residual.

Para el muestreo, se utilizó un balde para tomar la muestra en un punto en el cual todas las aguas residuales se unen y se descargan al río. El muestro se realizó usando las técnicas aceptables, el enjuague del balde, probeta y botella 3 veces; luego se procedió a colocar el agua residual en una probeta plástica para tomar la alícuota exacta de 1500 mL, y así traspasar de esta al recipiente que contiene la muestra de agua residual. Para el parámetro de DBO_5 se realizó la misma metodología mencionada anteriormente, pero con la diferencia que se tomó 4 alícuotas de 250 mL de agua residual para una botella plástica estéril de 1 L. En la siguiente figura se indica el punto en el cual se realizó el muestreo:

Figura 5

Punto de Muestreo



Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

4.3.1.2. Medición de caudal/aforo

Para conocer el caudal se utilizó el método de aforo con el molinete con el objetivo de conocer la velocidad del efluente, debido que los efluentes de agua residual a estudiar no contienen un exceso de sólidos que puedan obstruir el medidor. Para este método de aforo se midió la altura y ancho del canal donde desemboca el AR, luego se procedió a colocar el molinete para conocer la velocidad con la que fluye el agua. Así con estos datos se procede a conocer el valor de la sección transversal del canal y con la velocidad se podrá conocer el caudal (Metcalf & Eddy, 1998).

4.3.1.3. Potencial de hidrógeno, potencial de óxido reducción y temperatura


Se tomó una muestra de agua residual en una jarra para una mayor facilidad de introducción del electrodo. Posteriormente se selecciona el parámetro a analizar con el botón SET/HOLD, durante un tiempo se esperó a que el símbolo del reloj desaparezca de la pantalla para registrar el resultado respectivo. Al sumergir el electrodo en la muestra independiente en el modo que se encuentre el equipo, en la pantalla secundaria se visualiza el valor de temperatura de la muestra.

4.3.1.4. Oxígeno disuelto

Para la medición del OD el electrodo se sumergió en la jarra que contiene el agua residual, luego se oprimió el botón MEAS para el inicio de la medición. Una vez que el símbolo HOLD aparece en la pantalla se registró el valor.

4.3.1.5. Turbidez

Para medir la turbidez primero se colocó en el compartimiento de medición un blanco que contiene agua destilada la cual nos permite encerrar el equipo. Seguido a esto, se homogenizó el cubeto con la muestra de agua residual invirtiendo tres veces el cubeto. Una vez realizado este paso se llenó el cubeto con 10 mL de muestra hasta la línea marcada, se limpió el cubeto con un paño suave para limpiar cualquier rastro de partículas o huellas dactilares que puedan alterar el

resultado. Se colocó el cubeto en el turbidímetro procurando siempre posicionar bien y cubrir la muestra con la tapa para evitar la interferencia de la luz en la lectura. Para encerrar el equipo y para posteriormente iniciar la medición se presionó la tecla , el resultado se visualizó en la pantalla en unidades de NTU.

4.3.1.6. Levantamiento topográfico

Para el levantamiento topográfico se determinó dos puntos iniciales, el primer punto para la implantación de la estación total para la toma de puntos en donde se pueda visualizar todo el terreno; y el segundo punto para la orientación del equipo en el cual se colocó el prisma. A continuación, se detallan los pasos a seguir:

- Mediante el uso de un GPS se tomaron las coordenadas de los dos puntos iniciales, y se marcaron ambos puntos con estacas de madera.
- Se niveló la estación total en base al primer punto conocido.
- Se direccionó la estación total al prisma que se encuentra en el segundo punto conocido.
- Realizada la orientación de la estación total se procedió a la toma de puntos necesarios dentro del terreno.
- Finalmente se finaliza el levantamiento topográfico en la estación total para la posterior exportación de los puntos levantados.

Los puntos exportados se los importa en el software CivilCAD para realizar el dibujo del levantamiento topográfico como se indica en el Anexo 1.


4.3.2. Metodología empleada laboratorio

4.3.2.1. Conductividad

Se colocó 300 mL de agua residual en un vaso de precipitado para una mayor facilidad de introducción del electrodo. Posteriormente se selecciona el parámetro a analizar con el botón

SET/HOLD, durante un tiempo se esperó a que el símbolo del reloj desaparezca de la pantalla para registrar el resultado respectivo.

4.3.2.2. Demanda química de oxígeno

La muestra de agua residual se homogenizó, posterior a esto se colocó 500 mL de la muestra en un vaso de precipitado para facilitar la toma del volumen de muestra para el análisis de la DQO. Empleando dos jeringas de 1 mL se tomó 0,2 mL de agua residual y 0,2 de agua destilada respectivamente las cuales fueron homogenizadas previamente. Para una correcta introducción de la muestra y agua destilada en los viales se debe tomar en cuenta que estos se posicionan a 45°. Antes de introducir los viales al digestor el cual fue precalentado a 150°C se invierte cada vial suavemente, para iniciar con la digestión se presionó el botón  y se espera por un lapso de 2 horas. Al finalizar el proceso de digestión se invirtió los viales suavemente y se los dejó enfriar en la gradilla durante 20 minutos. Después de los 20 minutos en el equipo Fotómetro multiparamétrico HI83399 se eligió el método DQOHR (16) y se colocó el adaptador para los viales de 16 mm. Se introdujo el blanco y se presiona “Cero”, una vez que salga en la pantalla - 0.0- se introduce el vial con la muestra de agua residual y se oprime “Lectura” y se registró el valor de DQO en unidades de mg/L (Hanna Instruments, 2015).

4.3.2.3. Demanda bioquímica de oxígeno

En botellas ámbar de 500 mL se colocó un volumen de muestra de acuerdo con la escala elegida según el Manual de operación de los sensores de DBO, se introdujo el imán de agitación y se llenó el depósito de álcalis con el adsorbente de gránulos de cal sodada en cada botella respectivamente. A cada botella se le llevó a un equilibrio térmico por 20 minutos en la incubadora, posterior a esto se colocaron los sensores de DBO en cada botella presionando fuertemente para evitar interferencias en la medición. Para el inicio de la medición se reinició cada sensor

presionando a la vez las teclas A y B, se seleccionó con la tecla A la escala determinada y se presionó la tecla B para el inicio del ciclo de medición por 5 días. Para la realización de la lectura del resultado se presionó la tecla B para entrar al modo memoria, y poder anotar los valores de DBO_5 (Velp Scientifica, s.f.).

4.3.2.4. Nitrato

Para el inicio de la medición se prepara el equipo Fotómetro multiparamétrico HI83399 seleccionando el método nitrato, seguidamente se preparó la cubeta con 10 mL de agua residual previamente homogenizada la cual se colocó en la celda de medición. Para encerrar el equipo se presiona la tecla cero, posterior a este paso se añadió el reactivo nitrato HI 93728-0 a la cubeta con la muestra y se cerró con la tapa para una mezcla adecuada se agitó fuertemente de arriba hacia abajo durante 10 segundos y durante 50 segundos se invirtió la cubeta suavemente. Nuevamente se colocó la cubeta en la celda y se presionó la tecla “Reloj” el equipo muestra los resultados después de una cuenta regresiva ya definida en unidades mg/L de $\text{NO}_3\text{-N}$, para la conversión directa a mg/L de NO_3 se presionó la tecla Fórmula (Hanna Instruments, 2015).

4.3.2.5. Nitrito

Para el inicio de la medición se prepara el equipo Fotómetro multiparamétrico HI83399 seleccionando el método nitrito HR, seguidamente se preparó la cubeta con 10 mL de agua residual previamente homogenizada la cual se colocó en la celda de medición. Para encerrar el equipo se presiona la tecla cero, posterior a este paso se añadió el reactivo nitrato HI 93708-0 a la cubeta con la muestra y se cerró con la tapa para una mezcla adecuada se agitó suavemente hasta la completa disolución del reactivo. Nuevamente se colocó la cubeta en la celda y se presionó la tecla “Reloj” el equipo muestra los resultados después de una cuenta regresiva ya definida en unidades mg/L de

NO_2^- , para la conversión directa a mg/L de $\text{NO}_2^- \text{N}$ y NaNO_2 se presionó la tecla Fórmula (Hanna Instruments, 2015).

4.3.2.6. Fosfato

Para el inicio de la medición se prepara el equipo Fotómetro multiparamétrico HI83399 seleccionando el método fosfato HR, seguidamente se preparó la cubeta con 10 mL de agua residual previamente homogenizada la cual se colocó en la celda de medición. Para encerrar el equipo se presiona la tecla cero, posterior a este paso se añadió 10 gotas del reactivo HI 93717A-0 y un sobre del reactivo HI93717B-0 a la cubeta con la muestra y se cerró con la tapa para su mezcla se agitó suavemente hasta completar la disolución de los reactivos agregados. Se colocó la cubeta en la celda otra vez y se presionó la tecla “Reloj”, el equipo muestra los resultados después de una cuenta regresiva ya definida en unidades de mg/L de PO_4^{3-} , para la conversión directa a mg/L de P y P_2O_5 se presionó la tecla Fórmula (Hanna Instruments, 2015).

4.3.2.7. Sólidos sedimentables

Antes de la medición se homogenizó la muestra, en una probeta graduada se midió 1000mL del agua residual este volumen se trasvasó en un cono de Imhoff para que la materia caiga por acción de la gravedad, a los 45 minutos se rasparon las paredes del cono suavemente procurando no levantar los sólidos ya sedimentados. Se mantuvo en reposo por 15 minutos más completando un periodo de reposo total de 60 minutos y se registró el valor de sólidos sedimentados en unidades de mL/L (American Public Health Association et al., 1992).

4.3.2.8. Sólidos totales

Para la determinación de los ST se utilizó un crisol previamente secado a 103-105°C durante una hora y se lo llevó al desecador para su posterior pesaje. Después se colocó 100 mL de agua residual homogenizada y se lo llevó a evaporación en una estufa a una temperatura entre 103-

105°C por un período aproximado de 4 horas, transcurrido este tiempo se lo llevó a desecación nuevamente para el pesaje del residuo seco (American Public Health Association et al., 1992). Para la determinación de la concentración de sólidos totales se aplicó la fórmula detallada a continuación:

Ecuación 1

$$Sólidos\ totales\ (mg/L) = \frac{(Peso\ A - Peso\ B) * 1000}{Vol\ de\ la\ muestra,\ (ml)}$$

Donde:

A = Peso del residuo seco + crisol a 105°C, (mg)

B = Peso del crisol a 105°C, (mg)

4.3.2.9. Sólidos suspendidos totales

Para la determinación de los SST se filtró 100 mL de la muestra de agua residual previamente homogenizada por un filtro de membrana de 45 µm, el cual fue previamente secado en la estufa a una temperatura entre 103-105°C y posteriormente desecado y pesado. Para la filtración se utilizó una bomba al vacío y un equipo de filtración para retener los SST en el filtro. A continuación, se lo llevó a la estufa nuevamente a 103-105°C por el período de 1 hora para luego desecarlo y pesarlo nuevamente (American Public Health Association et al., 1992). Para conocer la concentración de SST se empleó la fórmula que se indica a continuación:

Ecuación 2

$$SST\ (mg/L) = \frac{(Peso\ C - Peso\ D) * 1000}{Vol\ de\ la\ muestra,\ (ml)}$$

Donde:

C= Peso crisol + filtro + residuo seco a 105°C, (mg)

D= Peso crisol + filtro a 105°C, (mg)

4.4. Metodología de análisis estadístico

Debido a que cada tipo de agua residual tiene distinto origen y naturaleza, como es el caso de las aguas residuales domésticas que son variables debido a los hábitos y estilo de vida de la población se necesita realizar una metodología de análisis estadístico para poder determinar los parámetros de diseño con el valor máximo más probable, y así no tener problemas a futuro en cuanto al correcto funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Con los datos obtenidos de calidad de agua de Pesillo se realizó un análisis estadístico mediante el método de Henry, lo cual garantizará un funcionamiento de la PTAR en un 95% de las pruebas. Se utilizó como metodología de análisis estadístico la medida de la precisión de un ensayo el cual consiste en la repetibilidad de una serie de medidas o grado de conformidad de medidas repetidas de un mismo parámetro. La precisión de un ensayo del 95% se determina mediante el análisis de un arreglo de réplicas de una muestra (Romero, 2004). A continuación, se presentan los análisis estadísticos y sus respectivas gráficas de probabilidad:

Tabla 9

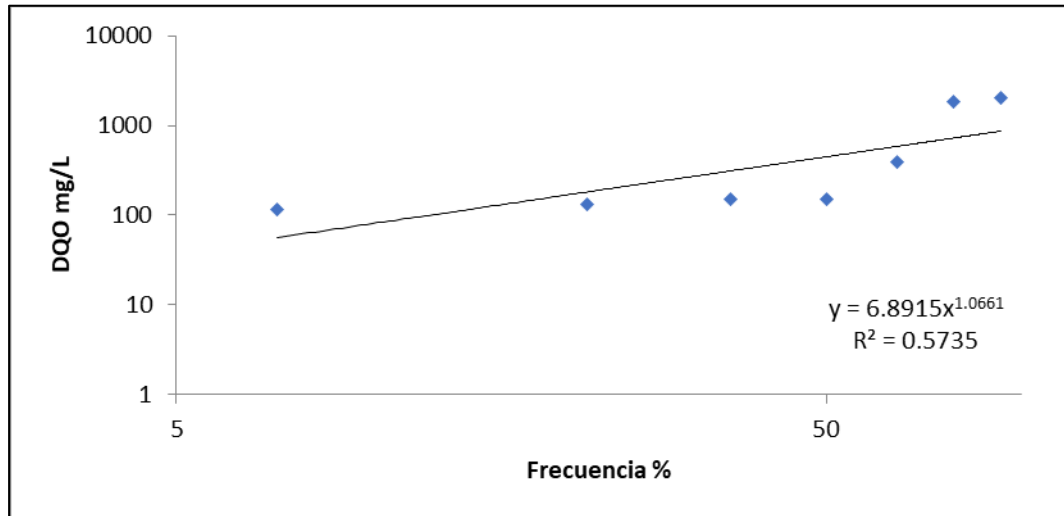
Análisis Estadístico DQO

m	DQO, mg/L	f (%)
1	114	7,14
2	131	21,43
3	150	35,71
4	153	50,00
5	397	64,29
6	1836	78,57
7	2056	92,86

Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

Figura 6

Grafica de Probabilidad DQO



Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

Tabla 10

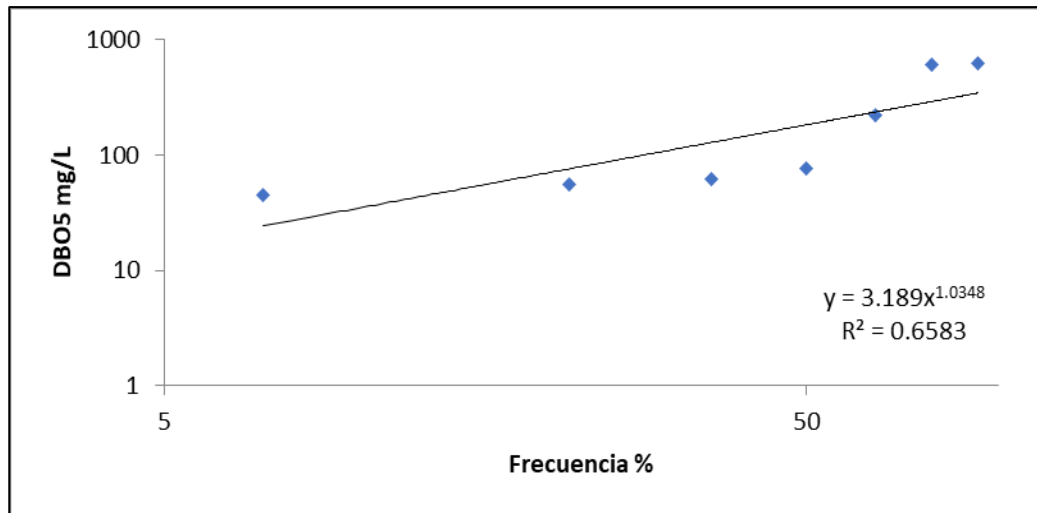
Análisis Estadístico DBO5

m	DBO ₅ , mg/L	f (%)
1	45	7,14
2	56,4	21,43
3	61,9	35,71
4	76,7	50,00
5	225	64,29
6	616	78,57
7	627	92,86

Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

Figura 7

Grafica de Probabilidad DBO5



Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

Tabla 11

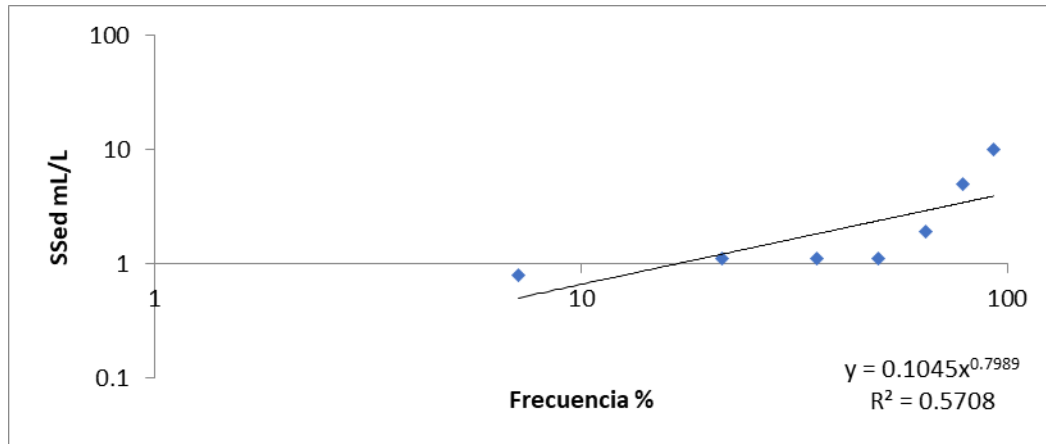
Análisis Estadístico Sólidos Sedimentables

m	SSed, mL/L	f (%)
1	0,8	7,14
2	1,1	21,43
3	1,1	35,71
4	1,1	50,00
5	1,9	64,29
6	5	78,57
7	10,1	92,86

Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

Figura 8

Grafica de Probabilidad Solidos Sedimentables



Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

4.5. Diseño

4.5.1. Población de diseño

Para un correcto diseño y operación de la PTAR se debe conocer la población futura del sitio a realizar el proyecto, para esto se calcularon los siguientes parámetros:

4.5.1.1 índice de crecimiento de la población

Por medio de los datos del INEC y datos de censos de población proporcionados por la Junta de Agua Potable y Alcantarillado de Pesillo se calcula el índice de crecimiento de Pesillo, mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 3

$$i = \sqrt[n]{\frac{Pf}{Po}} - 1$$

Donde:

Pf: Población final, (habitantes)

Po: Población inicial, (habitantes)

i: Tasa de crecimiento

n: Años transcurridos, (años)

4.5.1.2 Periodo de diseño

El periodo de diseño nos indica el tiempo de vida útil que va a tener la PTAR, este periodo va de 25 – 30 años, el cual es un dato que se utiliza como base para diseños de plantas de tratamiento. En el presente diseño se proyectó para el año 2045.

4.5.1.3 Proyección de la población

Para conocer la proyección de la población de la comunidad para el año 2045 se aplicó el método geométrico aplicando la siguiente ecuación:

Ecuación 4

$$Pf = Po * (1 + i)^n$$

Donde:

Pf: Población final, (habitantes)

Po: Población inicial, (habitantes)

i: Tasa de crecimiento

n: Periodo de diseño, (años)

4.5.2. Caudal de diseño

Con los datos obtenidos de población futura se calcula el caudal de diseño el cual es importante para conocer el caudal de agua residual que entrará a la PTAR y el dimensionamiento que se dará a las unidades de tratamiento.

Ecuación 5

$$Q_{AR} = Pf * D * C_R$$

Donde:

Q_{AR} : Caudal de diseño, (m³/día)

Pf: Población final, (habitantes)

D: Dotación, (L/hab/día)

C_R : Coeficiente de retorno (0,8)

4.5.3. Diseño de la planta de tratamiento de agua residual mediante lodos activos

4.5.3.1. Diseño de canal de ingreso

Es necesario tener un canal de ingreso de agua residual para el diseño y disposición de la criba, el cual en este diseño es de sección rectangular. Para su diseño se empleó la fórmula del caudal de Manning indicada a continuación:

Ecuación 6

$$Q_{AR} = A * S^{\frac{1}{2}} * R^{\frac{2}{3}} * \frac{1}{n}$$

Donde:

Q_{AR} : Caudal de diseño, (m³/día)

S: Pendiente, (m/m)

n: Coeficiente de rugosidad de Manning (0,014)

A: Área, (m²)

R: Radio hidráulico, (m)

Para la determinación de los parámetros de área y radio hidráulico se utilizó la Ecuación 7 y Ecuación 8, considerando el ancho del canal en base a la siguiente tabla.

Tabla 12

Medidas Típicas del Ancho del Canal

Ancho del canal	40-50-60-80-100-125-160-180-200-225-250
-----------------	---

Nota. La medida del ancho del canal se encuentra en cm. Tomado de Valdez & Vázquez, (2003).

Ecuación 7

$$A = b * h$$

Donde:

A: Área, (m²)

b: Ancho del canal, (m)

h: Altura del canal, (m)

Ecuación 8

$$R = \frac{A}{b + 2h}$$

Donde:

R: Radio hidráulico, (m)

A: Área, (m²)

b: Ancho del canal, (m)

h: Altura del canal, (m)

Para determinar la longitud del canal se aplica la siguiente fórmula:

Ecuación 9

$$L = 3,50 * b$$

Donde:

L: Longitud del canal, (m)

b: Ancho del canal, (m)

Una vez calculado el área y radio hidráulico se puede conocer la altura del canal aplicando la Ecuación 6, utilizando el software Excel se aplicó el método de estimación el cual consiste en ir variando la altura del canal hasta igualar el caudal de diseño de la PTAR con el caudal de la fórmula de Manning.

4.5.3.2. Diseño de criba

Para el diseño de la criba con una inclinación de 45° se emplearon las ecuaciones indicadas a continuación:

Ecuación 10

$$L = \sqrt[3]{\frac{\sqrt{2}}{2 * g} * \left(\frac{Q_{AR}}{c * a}\right)^2}$$

Donde:

Q_{AR} : Caudal de diseño, (m³/s)

L: Largo, (m)

C: Coeficiente de descarga (0.003)

g: Gravedad, (9,81m/s²)

a: ancho del canal, (m)

Ecuación 11

$$A_e = L * a$$

Donde:

A_e : Área efectiva, (m²)

h: altura, (m)

Ecuación 12

$$h = \frac{L}{\sqrt{2}}$$

Donde:

h: altura, (m)

L: Largo, (m)

Ecuación 13

$$n * b + (n - 1) * t = a$$

Donde:

b: Ancho de barras (0.015 m)

t: Espacio entre barras (0.025 m)

n: Número de barras requeridas

El tipo de rejilla diseñada es de limpieza manual por lo cual se toman los valores de ancho de barra y espaciamiento entre barras indicados a continuación.

Tabla 13

Características de Rejillas de Barras

Características	De limpieza manual	De limpieza mecánica
Ancho de las barras	0,5 – 1,5 cm	0,5 – 1,5 cm
Profundidad de las barras	2,5 – 7,5 cm	2,5 – 7, 5cm
Abertura o espaciamiento	2,5 – 5,0 cm	1,5 – 7,5 cm
Pendiente con la vertical	30° -45°	0° -30°
Velocidad de acercamiento	0,3 – 0,6 m/s	0,6 – 1 m/s
Pérdida de energía permisible	15 cm	15 cm

Nota. Tomado de Romero, (2004).

Cabe recalcar que en la parte superior de la criba debe existir una placa perforada, con el fin de drenar temporalmente el agua del material removido (Romero, 2004).

4.5.3.3. Diseño de trampa de grasas

Con los resultados obtenidos de los análisis realizados en el laboratorio Environovalab acreditado por el SAE indicados en el Anexo 9 y 10, se dimensionó la trampa de grasas con las ecuaciones descritas a continuación:

Ecuación 14

$$V_{AyG} = \frac{Q_{AR} * t_v * AyG * 2}{\rho_{AyG}}$$

Donde:

Q_{AR} : Caudal de Diseño, (m³/s)

V_{AyG} : Volumen trampa de grasas, (m³)

t_v : Tiempo de vaciado, (día)

ρ_{AyG} : Densidad, (g/cm³)

La trampa de grasas está compuesta por dos cámaras internas de diferentes dimensiones, en la cual la grasa flota y el agua más clara es descargada (Romero, 2004). Para el diseño de este tanque se utilizó una relación de longitud/ancho como la descrita a continuación:

Ecuación 15

$$L = 2a = 3h$$

Donde:

L: longitud caja grande, (m)

a: ancho caja grande, (m)

h: altura caja grande, (m)

Mediante la relación de la Ecuación 15 se reemplaza en la fórmula de volumen de un rectángulo, teniendo como resultado la siguiente ecuación para el cálculo de longitud, ancho y altura de la caja grande de la trampa de grasas.

Ecuación 16

$$L = \sqrt[3]{\frac{27 * V_{AyG}}{2}}$$

Donde:

L: longitud caja grande, (m)

V_{AYG}: Volumen trampa de grasas, (m³)

Ecuación 17

$$a = \frac{L}{2}$$

Donde:

a: ancho caja grande, (m)

L: longitud caja grande, (m)

Ecuación 18

$$h = \frac{L}{3}$$

Donde:

h: altura caja grande, (m)

L: longitud caja grande, (m)

Una vez calculadas las dimensiones de la caja grande de la trampa de grasas se pueden determinar las dimensiones de la caja pequeña con las ecuaciones indicadas a continuación:

Ecuación 19

$$L_{cp} = L * \frac{2}{3}$$

Donde:

L_{cp}: longitud caja pequeña, (m)

a_{cp}: ancho caja pequeña, (m)

h_{cp}: altura caja pequeña, (m)

Ecuación 20

$$a_{cp} = a$$

Donde:

a_{cp} : ancho caja pequeña, (m)

a : ancho caja grande, (m)

Ecuación 21

$$h_{cp} = h * \frac{2}{3}$$

Donde:

h_{cp} : altura caja pequeña, (m)

h : altura caja grande, (m)

4.5.3.4. Diseño de sedimentador primario

Para el dimensionamiento del sedimentador primario se tomaron los datos de sólidos sedimentables determinados en laboratorio. Para el tiempo de retención se utilizó el valor de 1,5 horas según lo que indica Romero (2004). Se emplearon las ecuaciones siguientes:

Ecuación 22

$$V_{sd} = Q_{AR} * t_R * 1,5$$

Donde:

V_{sd} : Volumen del sedimentador, (m³)

Q_{AR} : Caudal de diseño, (m³/s)

t_R : Tiempo de retención (1,5 hr)

El sedimentador primario es un tanque rectangular, por lo que según Romero (2004), se utiliza una relación de longitud/ancho de 3/1 con una profundidad de 2 metros. Mediante la relación indicada anteriormente se tienen las siguientes ecuaciones:

Ecuación 23

$$L = \sqrt[3]{6 * V_{sd}}$$

Donde:

L: longitud, (m)

V_{sd} : Volumen del sedimentador, (m³)

Ecuación 24

$$a = \frac{L}{2}$$

Donde:

a: ancho, (m)

L: longitud, (m)

Ecuación 25

$$h = \frac{L}{3}$$

Donde:

h: altura, (m)

L: longitud, (m)

Para el depósito de los sólidos se dimensionó una tolva de tipo piramidal rectangular. Para conocer la altura de la tolva y su volumen se emplearon las ecuaciones indicadas a continuación:

Ecuación 26

$$z = L * \tan \theta$$

Donde:

z: altura de la tolva, (m)

L: longitud, (m)

θ : ángulo de inclinación, (grados)

Ecuación 27

$$V_{tolva} = \frac{a * z * L}{3}$$

Donde:

V_{tolva} : Volumen piramidal de la tolva, (m³)

a: ancho, (m)

z: altura de la tolva, (m)

L: longitud, (m)

El tiempo de vaciado de la tolva se determina mediante los siguientes cálculos:

Ecuación 28

$$Q_s = Q_L * S_{sed}$$

Donde:

Q_s : Caudal que contiene sólidos, (m³/día)

Q_L : Caudal de diseño líquido, (m³/s)

S_{sed} : Cantidad de sólidos, (mL/L)

Ecuación 29

$$t_v = \frac{V_{tolva}}{Q_s}$$

Donde:

t_v : Tiempo de vaciado, (día)

V_{tolva} : Volumen piramidal de la tolva, (m³)

Q_s : Caudal que contiene sólidos, (m³/día)

4.5.3.5. Diseño de sedimentador secundario

El sedimentador secundario en la presente investigación se diseña de forma cilíndrica. Se tomaron los datos de carga superficial promedio, carga superficial pico y carga pico de sólidos en base a la siguiente tabla.

Tabla 14

Parámetros de Diseño de Sedimentador Secundario

Tipo de tratamiento	Carga superficial m/d		Carga de sólidos kg/dm ²		Profundidad m
	Caudal promedio	Caudal pico	Caudal promedio	Caudal pico	
Sedimentación secundaria	16 – 29 <34	40 – 65 <65	100 - 150	245	3,7 – 4,6
Sedimentación secundaria	8 - 33	24 - 49	23 - 164	164 - 234	3 - 6
Sedimentación después de filtro percolador	16 - 24	41 - 49	-	-	3 – 3,7
Sedimentación después de lodos activados (excluyendo aireación prolongada)	16 - 32	41 - 49	98 - 147	245	3,7 – 4,6
Sedimentación después de lodos activados aireación prolongada	8 - 16	32	98 - 147	245	3,7 – 4,6

Nota. Tomado de Romero, (2004).

Para el diseño del sedimentador secundario se emplearon las siguientes ecuaciones:

Ecuación 30

$$A_{sd} = \frac{Q_{AR}}{\left(\frac{Q_{pm}}{A}\right)}$$

Donde:

A_{sd} : Área del sedimentador para caudal promedio, (m²)

Q_{AR} : Caudal de diseño, (m³/s)

Q_{pm}/A : Carga superficial promedio, (m/día)

Ecuación 31

$$Q_{pc} = (2 + 1) * Q_{AR}$$

Donde:

Q_{pc} : Caudal pico del afluente al sedimentador secundario, (m³/día)

Q_{AR} : Caudal de diseño, (m³/s)

Ecuación 32

$$A_{sdp} = \frac{Q_{pc}}{\left(\frac{Q_{pc}}{A}\right)}$$

Donde:

A_{sdp} : Área del sedimentador para caudal pico, (m²)

Q_{pc}/A : Carga superficial pico, (m/día)

Q_{pc} : Caudal pico del afluente al sedimentador secundario, (m³/día)

Ecuación 33

$$Q_{Fps} = Q_{pc} * X$$

Donde:

Q_{fps} : Flujo pico de sólidos, (kg/día)

Q_{pc} : Caudal pico del afluente al sedimentador secundario, (m³/día)

X : Concentración de SSV, (mg/L)

Ecuación 34

$$A = \frac{Q_{Fps}}{C_{ps}}$$

Donde:

A : Área de sedimentación requerida por carga de sólidos, (m²)

Q_{fps} : Flujo pico de sólidos, (kg/día)

C_{ps} : Carga pico de sólidos, (kg/día m²)

Para dimensionar el cilindro del sedimentador secundario se toma el resultado del área del sedimentador para caudales pico (A_{sdp}), utilizando la siguiente formula:

Ecuación 35

$$\phi_1 = \sqrt{\frac{4 * A_{sdp}}{\pi}}$$

Donde:

ϕ_1 : Diámetro del cilindro, (m)

A_{sdp} : Área del sedimentador para caudal pico, (m²)

La profundidad fue tomada de la Tabla 14 para conocer el volumen del cilindro usando la fórmula siguiente:

Ecuación 36

$$V = A_{sdp} * h$$

Donde:

V : Volumen del sedimentador, (m³)

A_{sdp} : Área del sedimentador para caudal pico, (m²)

h: Profundidad cilindro, (m)

Ecuación 37

$$C_v = \frac{Q_{pc} * 1000}{\pi * \phi * 86400}$$

Donde:

Cv: Carga de rebose, (L/sm)

Q_{pc}: Caudal pico del afluente al sedimentador secundario, (m³/día)

Ø: Diámetro de la tolva, (m)

Con el resultado del volumen del sedimentador se puede conocer el tiempo de retención, por medio de la siguiente fórmula:

Ecuación 38

$$\theta = \frac{V_{Total} * 24}{Q_{AR}}$$

Donde:

Ø: Tiempo de retención, (hr)

V: Volumen del sedimentador, (m³)

Q_{AR}: Caudal de diseño, (m³/s)

4.5.3.6. Diseño de tanque de cloración y dosificación de cloro

Con respecto al dimensionamiento del tanque de cloración, según Romero (2004), el tiempo de retención no debe ser menor a 30 minutos. El volumen del tanque se calcula con la siguiente fórmula indicada a continuación:

Ecuación 39

$$V = Q_{AR} * t_R$$

Donde:

V: Volumen de tanque de cloración, (m³)

Q_{AR}: Caudal de diseño, (m³/s)

t_R: Tiempo de retención, (min)

Los encofrados para construcción en Ecuador tienen un estándar de construcción de altura de 2 m (Arrieta & Chica, 2019). Utilizando la fórmula del volumen de un cilindro y con el valor de altura se reemplaza en la siguiente fórmula:

Ecuación 40

$$\emptyset = \sqrt{\frac{V * 4}{\pi * h}}$$

Donde:

V: Volumen de tanque de cloración, (m³)

∅: Diámetro de cilindro, (m)

h: Altura del cilindro, (m)

Para determinar la cantidad de cloro que se debe introducir al tanque se utilizan las siguientes fórmulas:

Ecuación 41

$$\frac{N_t}{N_o} = (1 + 0,23 * C_t * t)^{-3}$$

Donde:

N_t: Número de organismos coliformes en el instante t, (NMP/100ml)

N_o: Número de organismos coliformes en el instante t_o, (NMP/100ml)

C_t: cloro residual medido en el instante de tiempo t, (mg/L)

t: tiempo de permanencia, (min)

4.5.3.7. Determinación de tasas de lodos activados

Para el diseño de las unidades de tratamiento del tanque de aireación y lecho de secado se determinaron las tasas de lodos activos a nivel de laboratorio para conocer los coeficientes biológicos. La metodología utilizada para la determinación de tasas se siguió conforme a lo indicado por Metcalf & Eddy (1998).

4.5.3.8. Diseño de tanque de aireación

El volumen del tanque de aireación se determina mediante el empleo de la siguiente fórmula:

Ecuación 42

$$V = \frac{Y * Q * \theta_c * (S_o - S_e)}{X(1 + k_d * \theta_c)}$$

Donde:

V: Volumen de reactor, (m³)

Y: Coeficiente de producción de crecimiento o relación de masa, (mgSSV/mgDQO)

Q_{AR}: Caudal de diseño, (m³/día)

Θ_c: Tiempo de retención celular, (día)

S_o: Concentración del afluente, (mgDQO/L)

S_e: Concentración del efluente, (mgDQO/L)

X: Concentración de biomasa en el reactor, (mgSSV/L)

K_d: Coeficiente de declinación endógena, (día⁻¹)

Para el dimensionamiento del tanque se utiliza la relación de tamaño de la Ecuación 15 y se calcula el largo, ancho y profundidad mediante las siguientes fórmulas:

Ecuación 43

$$L = \sqrt[3]{6 * V}$$

Donde:

L: Longitud, (m)

V: Volumen de reactor, (m³)

Ecuación 44

$$a = \frac{L}{2}$$

Donde:

L: Longitud, (m)

a: Ancho, (m)

Ecuación 45

$$h = \frac{L}{3}$$

Donde:

h: altura, (m)

L: Longitud, (m)

El tiempo de retención se determina empleando la siguiente formula:

Ecuación 46

$$t_R = \frac{V}{Q_{AR}}$$

Donde:

t_R: Tiempo de retención, (día)

V: Volumen de reactor, (m³)

Q_{AR}: Caudal de diseño, (m³/día)

4.5.3.9. Diseño de sistema de aireación

Para la correcta determinación del sistema de aireación en lo que respecta a potencia requerida de compresores, número de blowers y aireadores se determina inicialmente el consumo de oxígeno y el suministro de aire requerido basándose en las siguiente formula:

Ecuación 47

$$Consumo = Q_{AR} * DQO$$

Donde:

Consumo: Consumo de oxígeno, (kg/día)

Q_{AR} : Caudal de diseño, (m³/s)

DQO: Reducción de DQO, (mg/L)

Para el cálculo del suministro de aire requerido se consideran los valores de densidad del aire de 1,2 Kg/m³ y eficiencia de la burbuja fina del 10% de acuerdo con lo establecido en Romero (2004).

Ecuación 48

$$C_{Aire} = \frac{Consumo}{d_{Aire} * O_2 * \epsilon}$$

Donde:

C_{Aire} : Suministro de aire requerido, (m³/día)

Consumo: Consumo de oxígeno, (kg/día)

d_{Aire} : Densidad del aire, (kg/m³)

O_2 : Porcentaje de Oxígeno en el Aire

ϵ : Eficiencia de transferencia de oxígeno burbuja fina

Para conocer el número de aireadores requeridos se considera el caudal de aire en operación establecido por el fabricante siguiendo la siguiente fórmula:

Ecuación 49

$$\text{Número de aireadores} = \frac{C_{Aire}}{Q_{Aire}}$$

Donde:

C_{aire} : Suministro de aire requerido, (m³/día)

Q_{aire} : Caudal del aireador, (m³/hr)

Ecuación 50

$$W = \frac{\text{Consumo}}{O_2 * \epsilon}$$

Donde:

W: Caudal de aire en peso, (kg/s)

Consumo: Consumo de oxígeno, (kg/día)

O₂: Porcentaje de Oxígeno en el Aire

ϵ : Eficiencia de transferencia de oxígeno burbuja fina

La potencia que se requiere para los blowers se calcula mediante la Ecuación 51 indicada a continuación, tomando en cuenta que previo a esto se debe calcular el caudal de aire en peso utilizando la Ecuación 50.

Ecuación 51

$$P = \frac{W * R * T_1}{8,41 * \epsilon_c} * \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

Donde:

P: Potencia requerida por los compresores, (HP)

W: Caudal de aire en peso, (kg/s)

R: Constante de los gases para aire, 8,314 kJ/k mol °K

T₁: Temperatura del lugar, (°K)

ε_c: Eficiencia del compresor

P₂: Presión absoluta de salida, (atm)

P₁: Presión absoluta de entrada, (atm)

Finalmente se puede determinar el número de blowers mediante la Ecuación 52 que van a ser requeridos para el sistema de aireación.

Ecuación 52

$$\text{Número de blower} = \frac{P}{P_{blower}}$$

Donde:

P_{blower}: Potencia del blower a utilizar, (HP)

P: Potencia requerida por los compresores, (HP)

4.5.3.10. Diseño de lecho de secado

Para el dimensionamiento del lecho de secado se utilizaron los datos de los resultados obtenidos a nivel de laboratorio de la tasa de lodos.

Inicialmente para el lecho de secado se calculó la tasa de producción de lodos empleando la siguiente fórmula:

Ecuación 53

$$P_x = \frac{Y * Q * (S_o - S_e)}{1 + k_d * \theta_c}$$

Donde:

Y: Coeficiente de producción de crecimiento o relación de masa, (mgSSV/mgDQO)

Q_{AR} : Caudal de diseño, ($m^3/día$)

Θ_c : Tiempo de retención celular, (día)

S_o : Concentración del afluente, (mg DQO/L)

S_e : Concentración del efluente, (mg DQO/L)

k_d : Coeficiente de declinación endógena, (dia^{-1})

P_x : Tasa de producción de lodos, (g/día)

Para la determinación del área del lecho de secado fue necesaria conocer la radiación solar del lugar de la investigación, para lo cual se utilizó el valor encontrado en el portal del INAMHI. Este valor fue empleado en la siguiente fórmula:

Ecuación 54

$$A = P_x * 0.45 * (T_e - T) * R_s * 2$$

Donde:

A: Área del lecho de secado, (m^2)

P_x : Tasa de producción de lodos, (g/día)

T_e : Temperatura de ebullición, ($^{\circ}C$)

T: Temperatura del lugar, ($^{\circ}C$)

R_s : Radiación solar del lugar, (Kw/m^2)

Para finalizar el diseño del lecho de secado se toma en cuenta los criterios de diseño propuestos por Romero (2004), indicados en la siguiente tabla.

Tabla 15

Criterios de Diseño para Lechos de Secado de Arena

Características	Criterio
Área requerida per cápita	
Lodo primario	0,09 m^2/c

Características	Criterio
Lodo primario y filtro percolador	0,15 m ² /c
Lodo primario y lodos activos	0,28 m ² /c
Lodos precipitados químicamente	0,18 m ² /c
Otros lodos	0,1 – 0,25 m ² /c
Carga de sólidos secos	
Lodo primario	134 kg/ m ² , año
Lodo primario y filtro percolador	110 kg/ m ² , año
Lodo primario y lodos activos	73 kg/ m ² , año
Lodos precipitados químicamente	110 kg/ m ² , año
Altura sobre la arena	0,5 – 0,9 m
Diámetro de tubería de drenaje principal	>0,10 m
Pendiente de tubería de drenaje principal	>1%
Distancia entre drenajes principales	2,5 – 6 m
Distancia entre tuberías laterales de drenaje	2,5 – 3 m
Espesor de grava	20 – 46 cm
Tamaño de grava	3 -25 mm
Profundidad de arena	20 – 46 cm
Coeficiente de uniformidad de la arena	<4
Tamaño efectivo de la arena	0,3 – 0,75 mm
Ancho del lecho para limpieza manual	7,5 m
Longitud de lecho de secado	<60 m
Decantadores	Para el control de erosión de la arena se
Placa de salpicamiento	recomienda sobre el perímetro 0,9 x 0,9 x 0,1
Rampas de acceso en concreto	A lo largo del eje central de los lechos para
	remoción de lodo con volquetas
Cobertura Profundidad de aplicación	Plástico reforzado con fibra de vidrio 20 –
	40cm
Operación	Para la remoción manual el lodo debe tener un
	30 – 40% de sólidos

Características	Criterio
Control	Para el control plagas (moscas, larvas, etc.) se utiliza bórax y borato de calcio

Nota. Tomado de Romero, (2004).

4.6. Estudio de Sostenibilidad

4.6.1. Análisis social

El análisis social de la presente investigación fue realizado con el objetivo de conocer la perspectiva que tiene la comunidad acerca de las aguas residuales y al momento de la socialización del proyecto satisfacer las dudas generadas de parte de la comunidad basadas en la encuesta realizada que básicamente constó de 10 preguntas, el modelo de encuesta está indicada en el Anexo 2, además se buscó conocer el nivel de aceptación de la comunidad de Pesillo en cuanto a la implementación de una Planta de Tratamiento para las aguas residuales generadas.

La socialización fue realizada con habitantes de la comunidad y miembros de la directiva de la Junta de Agua Potable y Alcantarillado de Pesillo los cuales son los encargados del cuidado del agua, dichos miembros son elegidos por parte de la comunidad.

4.6.2. Análisis económico y técnico

Para el diseño de una PTAR es necesario analizar la inversión que se requerirá para la construcción y posterior operación de la planta. Para calcular los valores estimados de las unidades de tratamiento inicialmente se tiene en cuenta el volumen de las mismas, con base en lo que se obtiene se calcula el costo estimado en unidades de USD/m³ de material necesario para la construcción de la planta de tratamiento. El análisis económico y técnico realizado se desarrolla en dos etapas, la primera consta de los costos calculados correspondientes al costo por estructura de las unidades de tratamiento y el costo de adquisición de equipos. En la segunda etapa constan los costos de operación de la planta de tratamiento.

4.6.2.1. Costos referenciales por unidad de tratamiento y equipos

Para realizar el cálculo de los costos referenciales de construcción de las unidades de tratamiento, en cuanto al hormigón se tomó como base el análisis de precios unitarios de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS - Quito). A continuación, se presenta en la Tabla 16 los costos por unidad de tratamiento.

Tabla 16

Costos Referenciales de Construcción

Unidad de tratamiento	Volumen de estructura (m ³)	Costo de hormigón (USD/m ³)	Costo referencial (USD)
Canal de ingreso	0,60	145,98	87,59
Trampa de grasas	3,34	145,98	487,57
Sedimentador primario	7,78	145,98	1.135,72
Sedimentador secundario	11,38	145,98	1.661,25
Tanque de cloración	2,03	145,98	296,34
Tanque aireador	22,86	145,98	3.337,10
Lecho de secado	0,99	145,98	144,52
Total			7.150,10

Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

El costo de adquisición de equipos se detalla en la Tabla 17.

Tabla 17

Costos Referenciales de Adquisición de Equipos

Cantidad	Equipo	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
2	Blower 5 HP	1200	2400
55	Aireadores	60	3300
1	Bomba sumergible	3900	3900
Total			9600

Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

4.6.2.2. Costos referenciales de operación y mantenimiento

En esta parte se presentan los costos de energía eléctrica por los equipos tomando como valor de tarifa promedio de 0,09 USD establecido por Conelec. La cantidad de personas necesarias para la operación y mantenimiento de la PTAR son dos operadores, una para que realice el mantenimiento de los equipos y otra para que realice la limpieza manual además de un técnico. A continuación, se presenta en la Tabla 18 los costos referenciales de consumo de energía de los equipos empleados en la PTAR y en la Tabla 19 los costos referenciales de operación y mantenimiento.

Tabla 18

Costos Referenciales de Consumo Energético de los Equipos

Equipo	Potencia (kw)	Funcionamiento (hr)	Consumo (kwhr)	Costo (USD)
Blower 5 HP	3,7	24	88,80	7,99
Bomba sumergible	2,2	0,5	1,10	0,10

Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

Tabla 19

Costos Referenciales de Operación

Cantidad	Descripción	Costo Fijo (USD/mes)	Costo Variable (USD/mes)	Costo Total (USD/mes)
2	Operador	400	-	800
1	Técnico	700	-	700
	Consumo Energético	-	242,73	242,73
Costo Total de Operación				1742,73

Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

4.6.2.3. Costos por metro cubico de agua tratada

En el siguiente trabajo se considera como costo de mantenimiento el 10% del costo total de operación teniendo así un total de 1917 USD/mes. Para conocer el costo por metro cubico de agua tratada se determinó el volumen de agua a tratar mensualmente a partir del caudal obteniendo así el valor de 10835,40 m³/mes. Mediante la metodología de Manrique & Palacios (2017) se procedió a calcular el costo por metro cubico de agua tratada con la fórmula indicada a continuación:

Ecuación 55

$$\text{Costo por metro cubico de AR tratada} = \frac{\text{Costo Operativo}}{\text{Volumen de AR tratada}}$$

Una vez realizada los cálculos se tiene finalmente como resultado que el costo de agua tratada es de 0,18 USD/m³.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados que se van a presentar a continuación son correspondientes a los valores de los análisis medidos in situ, laboratorio, tablas resumen de las dimensiones de las unidades de tratamiento y las tablas con los cálculos de las tasas de lodos del agua residual.

5.1. Resultados medidos In Situ

Los parámetros que se indican a continuación se midieron in situ debido a que los mismos pueden verse afectados en cuanto a sus características por factores como el tiempo de almacenamiento y refrigeración de la muestra.

Tabla 20

Resultados de los Análisis In Situ

PARAMETROS	UNIDADES	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
pH	-	7,10	7,33	7,16	7,31	7,18	6,86	7,06
T	°C	15,50	13,65	14,75	15,48	16,00	16,15	16,20
POR	mV	108,17	92,75	97,25	153,75	76,75	-2,25	4,25
Conductividad	uS/cm	280	414	978	642	636	1168	1110
OD	mg/L	2,01	3,50	3,03	2,15	1,57	1,06	0,72
Turbidez	NTU	154	79,7	704,6	240,7	167,8	221,3	295,7

Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

Mediante los análisis medidos in situ se determinó que el agua residual a ser tratada se mantiene dentro de los valores óptimos de pH y T para un ambiente apropiado para el desarrollo de los microorganismos. De los resultados del parámetro de POR indica que el agua residual está en estado aerobio, solo para el día 6 está en estado anaerobio por las diferentes actividades de la comunidad. Lo que respecta a conductividad los valores obtenidos reflejan que no se va a afectar el proceso de aireación, ya que una elevada conductividad afecta al correcto funcionamiento de los difusores debido a la salinidad presente en el agua residual. Los resultados del OD indican que

hay presencia de oxígeno en al agua residual a tratar, por ende, se determina que se pueden desarrollar organismos. Los valores de turbidez medidos indican que hay presencia de sólidos suspendidos.

5.2. Resultados en Laboratorio

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en laboratorio mediante el empleo de equipos de medición aplicando la metodología detallada anteriormente.

5.2.1. Parámetros físicos

Tabla 21

Resultados de los Análisis Físicos

PARAMETROS	UNIDADES	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
ST	mg/L	320	805	2508	718	612	2049	976
SSed	mL/L	0,8	1,1	10,1	5	1,1	1,1	1,9
SST	mg/L	118	103	592	380	156	242	324

Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

5.2.2. Parámetros químicos

Tabla 22

Resultados de los Análisis Químicos

PARAMETROS	UNIDADES	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
DQO	mg/L	153	114	2056	150	131	1836	397
DBO5	mg/L	45	61,9	616	76,7	56,4	627	225
Nitrato	NO ₃ ⁻	mg/L	0	1,8	123,9	13,3	13,6	97,4
Nitrito	NO ₂ ⁻	mg/L	0	1	22	21	14	38
Fósforo	P	mg/L	0,7	5,5	4,7	4,2	4,1	7,8

Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

Los parámetros de DQO y DBO son de vital importancia para conocer la calidad del agua, ya que con estos parámetros se puede conocer el índice de biodegradabilidad. Para el caso del nitrito, nitrato y fósforo se los toma en cuenta debido a que son nutrientes necesarios para los microorganismos en el tratamiento biológico.

Los resultados indicados a continuación fueron enviados a un laboratorio certificado por el SAE, las muestras enviadas fueron las que contenían mayor cantidad de aceites y grasas debido a su naturaleza.

Tabla 23

Resultados de los Análisis de Aceites y Grasas

PARAMETROS	UNIDADES	Muestra 1	Muestra 2
Aceites y grasas	mg/L	68	108

Nota. Tomado de Informe de laboratorio de Environovalab, Quito, (2020).

Los aceites y grasas en el agua residual son críticos para el tratamiento biológico, ya que forman una capa superficial impidiendo el intercambio del oxígeno con el agua, así como la alteración del pH modificando el ambiente óptimo del desarrollo de los microorganismos.

5.2.3. Parámetros biológicos

Los resultados que se presentan a continuación fueron obtenidos por medio del laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cayambe área de laboratorio de suelos y agua.

Tabla 24

Resultados de los Análisis Biológicos

PARAMETROS	UNIDADES	Resultados
Coliformes totales	NMP/100 mL	$3,1 \times 10^7$
Coliformes fecales	NMP/100 mL	$1,7 \times 10^6$

Nota. Tomado de Informe de laboratorio de suelos y agua, UPS Cayambe, (2020).

5.3. Resultados del Índice de Biodegradabilidad

Tabla 25

Resultados del Índice de Biodegradabilidad

	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Promedio
DBO5/DQO	0,3	0,5	0,3	0,5	0,4	0,3	0,6	0,41

Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

5.4. Resultados Dimensionamiento Unidades de Tratamiento

Una vez determinado el índice de crecimiento poblacional de Pesillo de 0,0123 se obtuvo la población futura para el año 2045, con lo cual se pudo determinar un caudal de diseño de 361,18 m³/día. Con este caudal se dimensionaron las unidades de tratamiento de la PTAR, indicadas a continuación:

5.4.1. Dimensionamiento de canal de ingreso

El canal de ingreso a la PTAR es de sección rectangular. En la Tabla 25 se muestran las dimensiones del canal de ingreso a la planta de tratamiento.

Tabla 26

Dimensiones del Canal de Ingreso

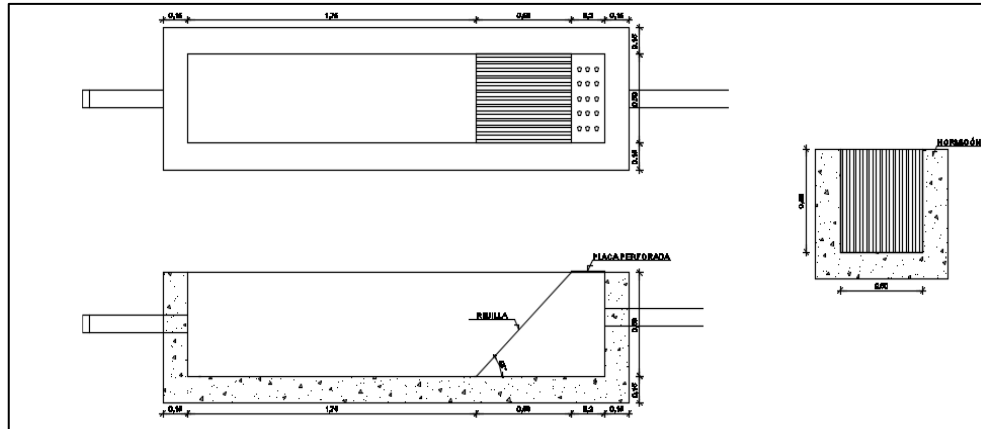
Descripción	Abreviatura	Unidad	Valor
Ancho del canal	b	m	0,50
Alto del canal	h	m	0,58
Longitud del canal	L	m	1,75

Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

En la Figura 9 se presenta la estructura del canal de ingreso.

Figura 9

Canal de Ingreso



Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

5.4.2. Dimensionamiento de la criba

La criba permite la retención de los sólidos gruesos para no afectar la operación de las demás unidades de tratamiento. En la Tabla 26 se detallan las dimensiones de la criba, en donde también están contempladas el número de barras.

Tabla 27

Dimensiones de la Criba

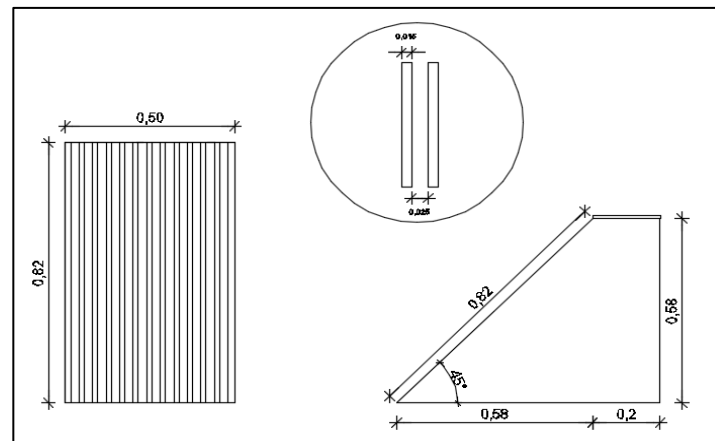
Descripción	Abreviatura	Unidad	Valor
Ancho	a	m	0,50
Altura	h	m	0,58
Largo	L	m	0,82
Área efectiva	A_e	m^2	0,41
Número de barras	n	-	13

Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

En la Figura 10 se presenta la estructura de la criba.

Figura 10

Criba



Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

5.4.3. Dimensionamiento de la trampa de grasas

El diseño de la trampa de grasas se elaboró tomando en cuenta la retención y la facilidad de remoción de grasas, así como sustancias menos densas que el agua esto permite mantener un ambiente adecuado para el posterior tratamiento biológico en el tanque aireador. En la Tabla 27 se presentan las dimensiones de la caja principal y secundaria de la trampa de grasas.

Tabla 28

Dimensiones de la Trampa de Grasa

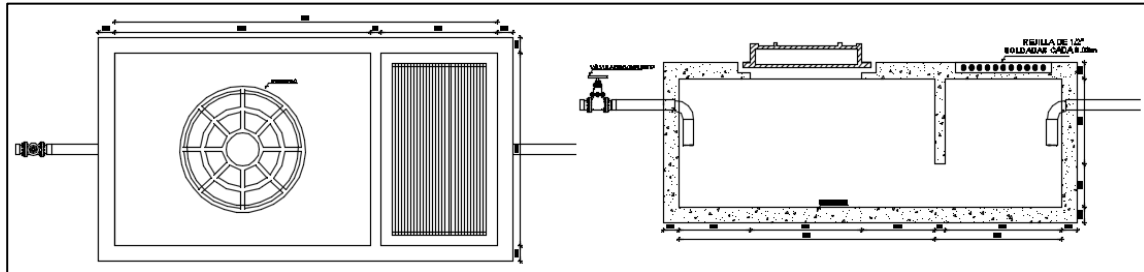
Descripción	Abreviatura	Unidad	Valor
Ancho caja grande	a	m	1,83
Altura caja grande	h	m	1,22
Longitud caja grande	L	m	3,65
Ancho caja pequeña	a _{cp}	m	1,83
Altura caja pequeña	h _{cp}	m	0,81
Longitud caja pequeña	L _{cp}	m	2,44

Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

En la Figura 11 se presenta la estructura de la trampa de grasas.

Figura 11

Trampa de Grasas



Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

5.4.4. Dimensionamiento del sedimentador primario

Esta unidad permite la remoción de SS, SSed y demás materia orgánica. El diseño del sedimentador primario fue dimensionado tomando en cuenta las características del agua residual a tratar para la remoción de los sólidos suspendidos y DBO, en la Tabla 28 se indican las dimensiones del sedimentador:

Tabla 29

Dimensiones del Sedimentador Primario

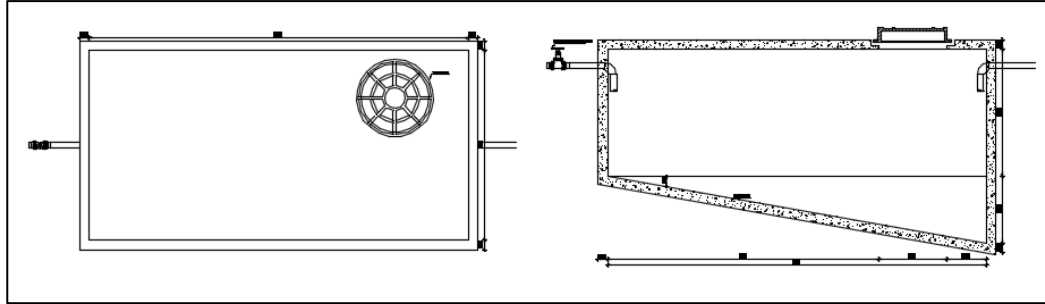
Descripción	Abreviatura	Unidad	Valor
Ancho	a	m	2,94
Altura	h	m	1,96
Largo	L	m	5,88
Volumen del sedimentador	V_{sd}	m^3	33,86
Altura de la tolva	z	m	1,04
Volumen piramidal de la tolva	V_{tolva}	m^3	5,97
Tiempo de vaciado	tv	día	4

Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

En la Figura 12 se presenta la estructura del sedimentador primario.

Figura 12

Sedimentador Primario



Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

5.4.5. Tasas de lodos

Con la obtención de las tasas podremos conocer las tendencias de crecimiento y decrecimiento de los microorganismos. A continuación, se presentan los cálculos resumidos en tablas y gráficas correspondientes que fueron desarrolladas siguiendo la metodología propuesta por Romero (2004), los cálculos se generaron por medio del software Excel.

Tabla 30

Datos para Cálculo de Tasas

Experiencia	DQO afluente	DQO efluente	Θ	Θ_c	X
	So, mg/L	S, mg/L	d	d	mg SSV/L
1	1101	789	1	1	95
2	1101	473	1	2	116
3	1101	193	1	3	88
4	1101	148	1	4	125
5	1101	117	1	8	255

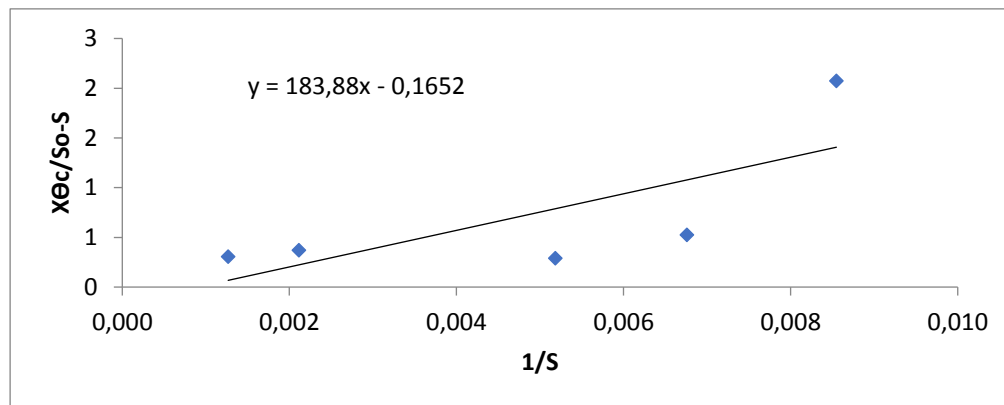
Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

Tabla 31*Cálculo de Tasas*

$1/\theta_c$	$S_o - S/X\theta_c$	$X\theta_c/S_o - S$	$1/S$	$X\theta_c$
d^{-1}	d^{-1}	d	$(mg/L)^{-1}$	mg SSV d/L
1,000	3,284	0,304	0,001	95
0,500	2,707	0,369	0,002	232
0,333	3,439	0,291	0,005	264
0,250	1,906	0,525	0,007	500
0,125	0,482	2,073	0,009	2040

Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

Ya obtenidos los cálculos de las tasas se realizó el gráfico de $X\theta_c/S_o - S$ vs. $1/S$, como se indica a continuación.

Figura 13*Gráfica $X\theta_c/S_o - S$ vs. $1/S$* 

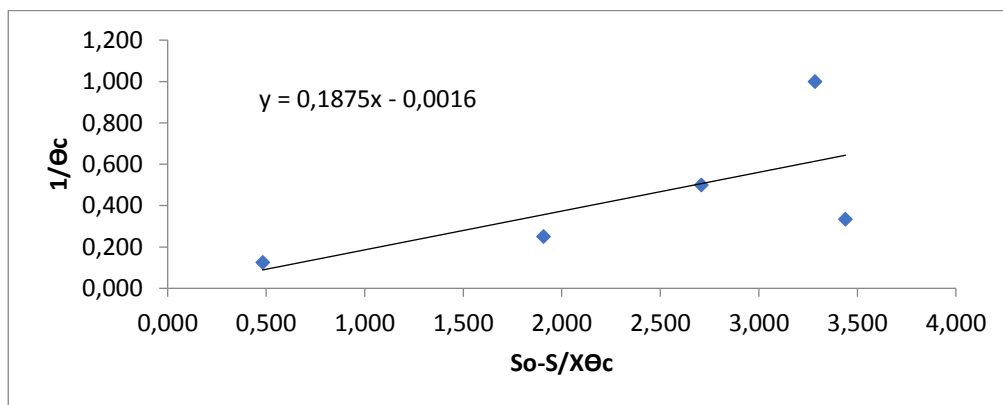
Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

De la Figura 13 por medio de una regresión lineal se determinó gráficamente los valores K y K_s , los cuales fueron $6,05 \text{ día}^{-1}$ y $1113,08 \text{ mg/L}$ respectivamente. En donde K indica que el agua residual va a ser biodegradable y K_s indica la cantidad de MO a ser necesaria para obtener la velocidad media de crecimiento.

Empleando nuevamente la tabla de cálculo de tasas se realizó el gráfico de $1/\theta_c$ vs. $S_o - S/X\theta_c$, como se indica a continuación.

Figura 14

Gráfica $1/\theta_c$ vs. $S_o - S/X\theta_c$



Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

De la Figura 14 por medio de una regresión lineal se determinó gráficamente los valores K_d y Y , los cuales fueron $0,002 \text{ día}^{-1}$ y $0,19 \text{ mg SSV/mg DQO}$ respectivamente. En donde Y indica que se producen $0,19 \text{ mg}$ de microorganismos por el consumo de la MO y K_d indica la tendencia de decrecimiento de los microorganismos.

5.4.6. Dimensionamiento del sedimentador secundario

Para el diseño del sedimentador secundario se tomó en cuenta que se debe separar los lodos activados de las aguas residuales depuradas del tanque aireador. Se indican las medidas correspondientes del sedimentador secundario a continuación:

Tabla 32

Dimensiones del Sedimentador Secundario

Descripción	Abreviatura	Unidad	Valor
Profundidad del cilindro	h	m	3,7
Diámetro del cilindro	\emptyset_1	m	5

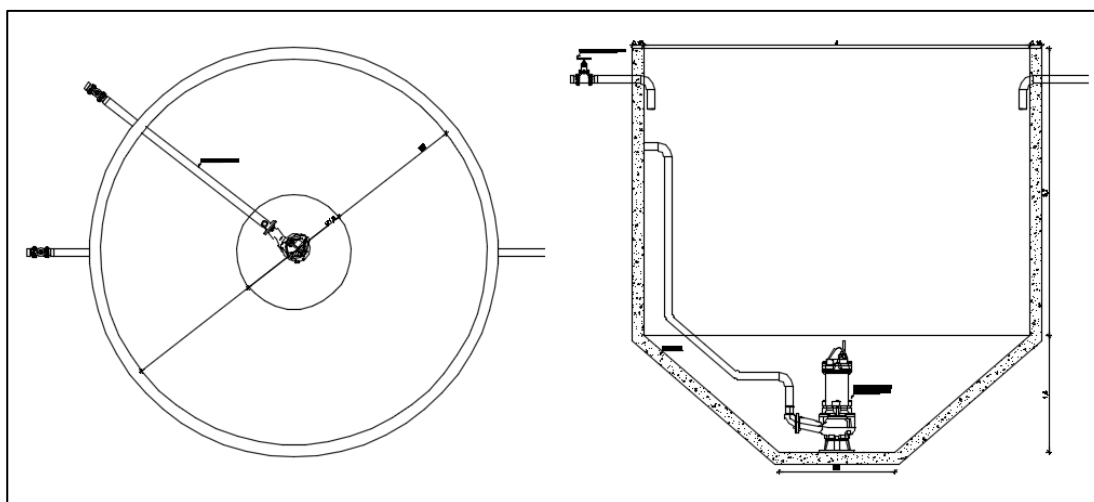
Descripción	Abreviatura	Unidad	Valor
Profundidad de la tolva	z	m	1,5
Diámetro de la tolva	\varnothing_2	m	1,5
Volumen del sedimentador	V	m^3	95,77
Tiempo de retención	Θ	h	6

Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

En la Figura 15 se presenta la estructura del sedimentador secundario.

Figura 15

Sedimentador Secundario



Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

5.4.7. Dimensionamiento del tanque de cloración y dosificación de cloro

Un tanque de cloración es indispensable para la eliminación de organismos patógenos presentes en el agua residual como es el caso de las coliformes fecales, se indica a continuación las dimensiones del tanque y la dosificación de cloro.

Tabla 33

Dimensiones del Tanque de Cloración y Dosificación de Cloro

Descripción	Abreviatura	Unidad	Valor
Altura del cilindro	h	m	2

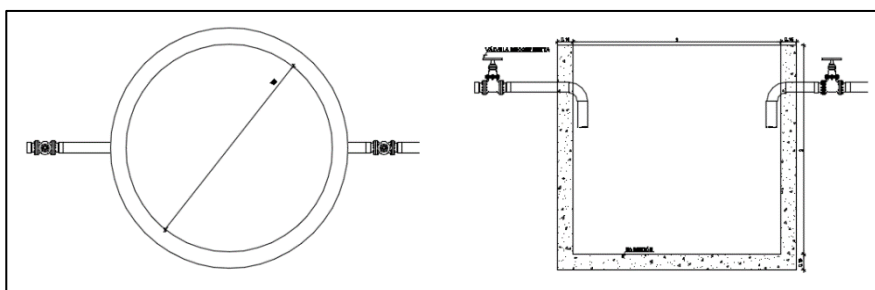
Descripción	Abreviatura	Unidad	Valor
Diámetro del cilindro	\emptyset	m	2
Volumen del tanque de cloración	V	m ³	7,52
Tiempo de retención	t _R	min	30
Cantidad de cloro	C ₁	mg/L	4,41

Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

En la Figura 16 se presenta la estructura del tanque de cloración.

Figura 16

Tanque de Cloración



Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

5.4.8. Dimensionamiento del tanque aireador y sistema de aireación

En el tanque aireador por medio del sistema de aireación al estar los microorganismos en contacto con el agua residual se genera la degradación de la materia orgánica. En la Tabla 34 se indican las dimensiones del tanque de aireación, además del sistema de aireación requerido indicado en la Tabla 35 el cual es un complemento al tanque de aireación.

Tabla 34

Dimensiones del Tanque Aireador

Descripción	Abreviatura	Unidad	Valor
Ancho	a	m	4,98
Altura	h	m	3,32
Longitud	L	m	9,96

Descripción	Abreviatura	Unidad	Valor
Volumen del reactor	V	m ³	164,85
Tiempo de retención	t _R	día	0,46

Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

Tabla 35

Dimensiones del Sistema de Aireación

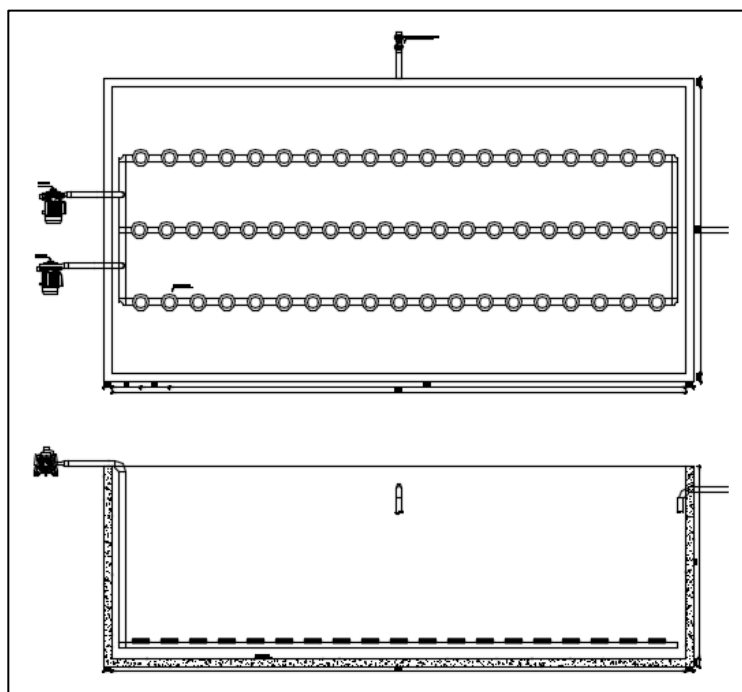
Descripción	Abreviatura	Unidad	Valor
Consumo de Oxígeno	Consumo	kg/día	301,61
Suministro de aire requerido	Caire	m ³ /día	11968,82
Potencia requerida por los compresores	P	HP	9,29
Número de blowers	-	-	2
Número de aireadores	-	-	55

Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

En la Figura 17 se presenta la estructura del tanque aireador.

Figura 17

Tanque Aireador y Sistema de Aireación



Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

5.4.9. Dimensionamiento del lecho de secado

En el lecho de secado se disponen los lodos provenientes del sedimentador primario y secundario en donde se deshidratan los lodos por medio de la radiación solar. El dimensionamiento del lecho de secado se indica en la Tabla 36, se debe tomar en cuenta que la altura total será sumada a los valores de la capa de arena y grava.

Tabla 36

Dimensiones del Lecho de Secado

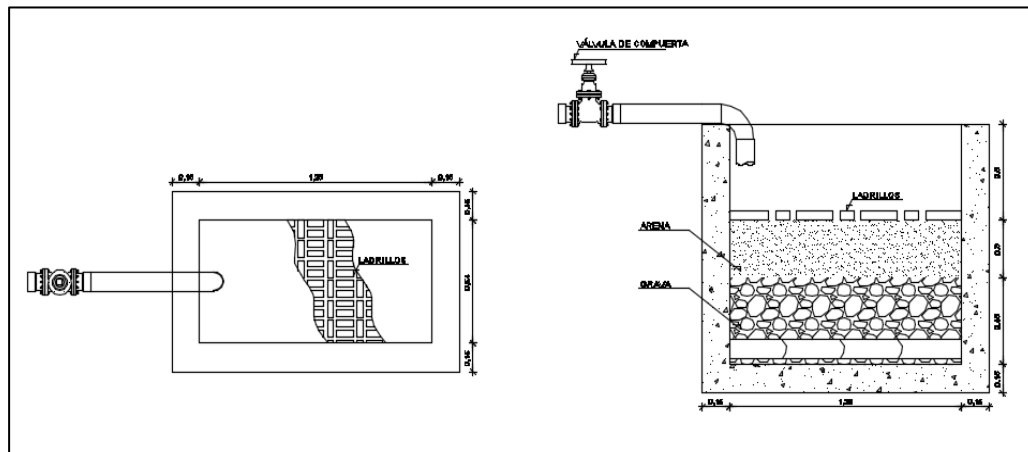
Descripción	Abreviatura	Unidad	Valor
Ancho	a	m	0,64
Altura	h	m	0,05
Longitud	L	m	1,28
Capa de arena	-	m	0,30
Capa de grava	-	m	0,45

Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

En la Figura 18 se presenta la estructura del lecho de secado.

Figura 18

Lecho de Secado



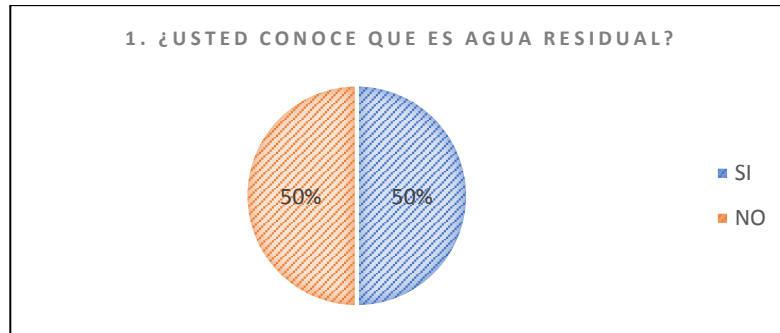
Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

5.5. Resultados del Análisis Social

A continuación, se presentan las gráficas de resultados y análisis correspondientes a las encuestas realizadas en Pesillo.

Figura 19

Interpretación Gráfica de la Pregunta N°1

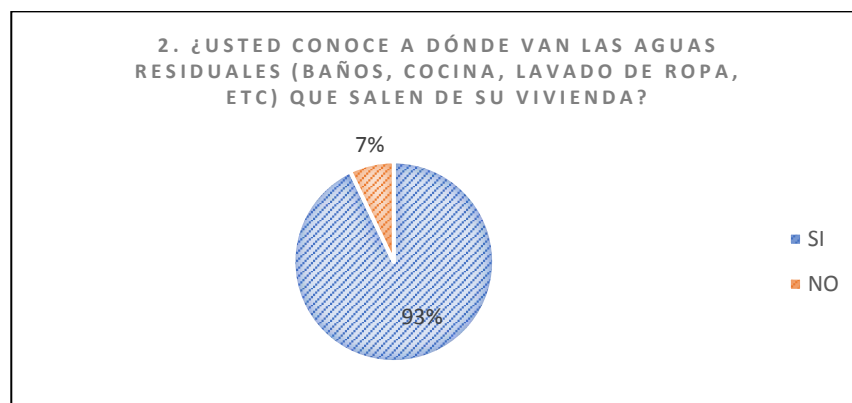


Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

De las 14 personas encuestadas, se tuvieron respuestas positivas del 50% y negativas del 50% lo cual indica que los habitantes de la comunidad desconocen dicho tema y al mismo tiempo los directivos de la Junta de Agua Potable y Alcantarillado conocen del tema por estar inmersos en temas de cuidado de agua.

Figura 20

Interpretación Gráfica de la Pregunta N°2

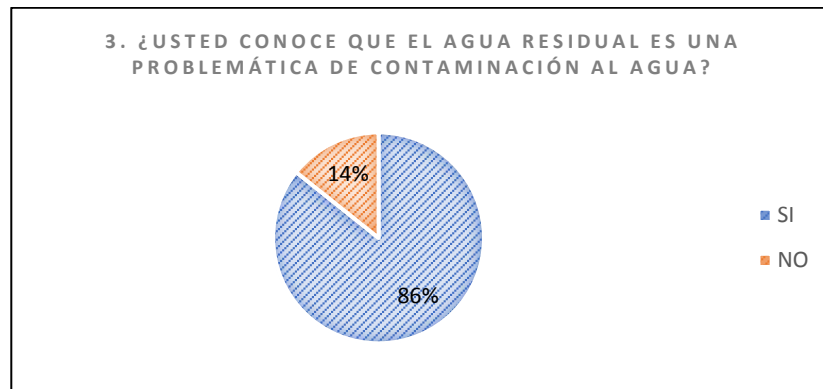


Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

El 93% de los encuestados conocen el destino que tienen sus aguas domésticas, mientras que el 7% desconoce su disposición final. Esto se da debido a que en la comunidad de Pesillo se organizan reuniones con los directivos en donde se habla acerca del cuidado del agua y la problemática del tratamiento actual de aguas residuales.

Figura 21

Interpretación Grafica de la Pregunta N°3

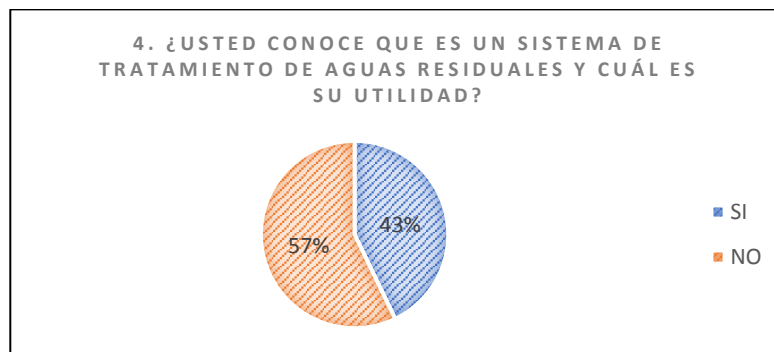


Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

Con relación a la pregunta anterior se determinó que el 86% de los encuestados dan a notar que saben que el agua residual es una problemática, mientras que el 14% desconocen de la problemática de contaminación por aguas residuales.

Figura 22

Interpretación Grafica de la Pregunta N°4

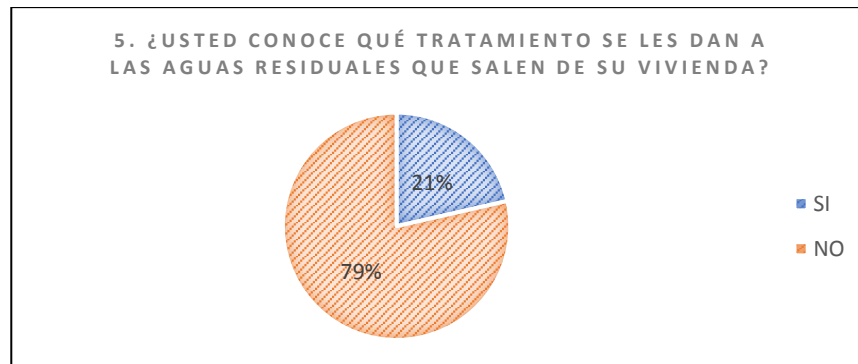


Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

Las personas encuestadas en un 57% no tienen conocimiento sobre los sistemas de tratamiento de agua residual y cuál es su objetivo, y en un 43% si conocen del tema de tratamiento de aguas residuales.

Figura 23

Interpretación Grafica de la Pregunta N°5

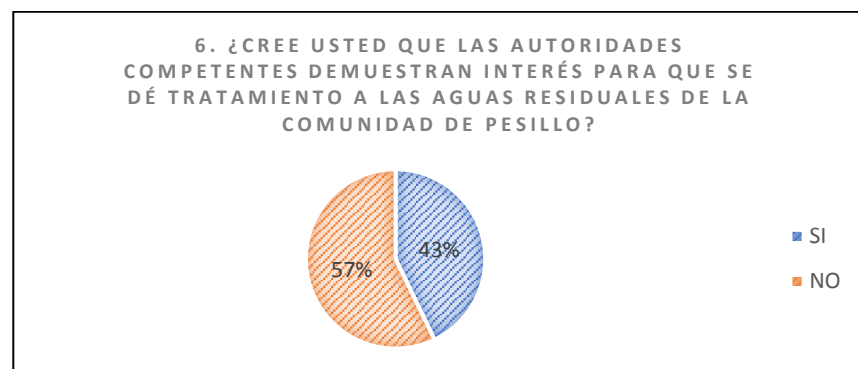


Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

De las personas encuestadas el 79% desconocen si se les da un tratamiento a las descargas de aguas residuales generadas en su vivienda, a diferencia del otro 21% que conocen el tratamiento de las aguas residuales.

Figura 24

Interpretación Grafica de la Pregunta N°6

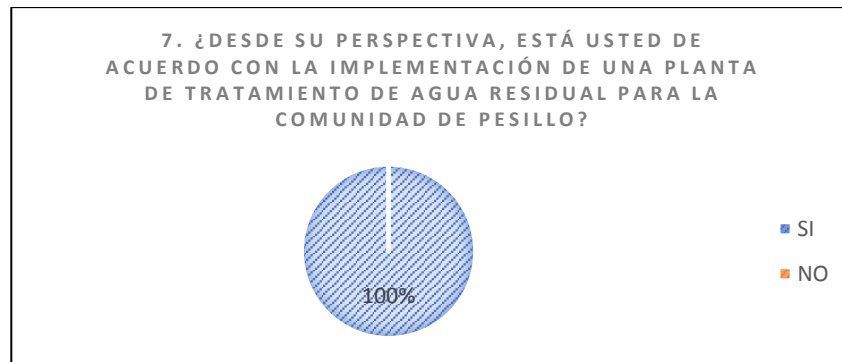


Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

Como indica la Figura 24, un 57% de los encuestados consideran que las autoridades competentes no de muestran compromiso con el tema del tratamiento de agua, mientras que el otro 43% afirma que si existe un interés para el tratamiento de agua por parte de las autoridades.

Figura 25

Interpretación Grafica de la Pregunta N°7

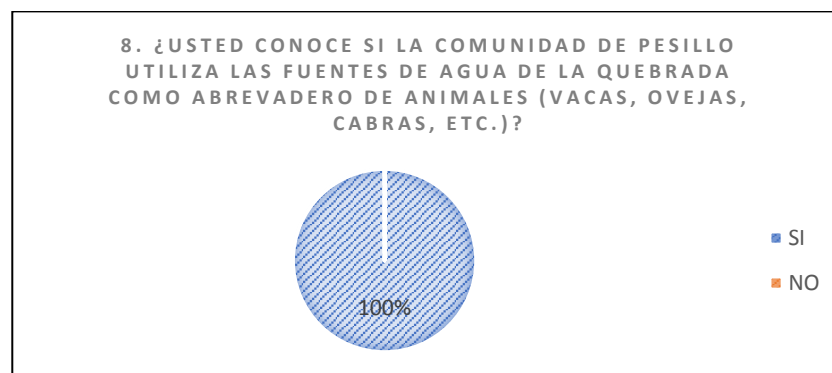


Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

De las 14 personas participantes como indica la Figura 25 completamente todos afirmaron que están de acuerdo que se dé un tratamiento de las aguas generadas mediante la implementación de una planta de tratamiento de agua residual. Por lo que se enfatiza que existe un gran interés por parte de la comunidad y que la presente propuesta de diseño va a tener una aceptación favorable.

Figura 26

Interpretación Grafica de la Pregunta N°8

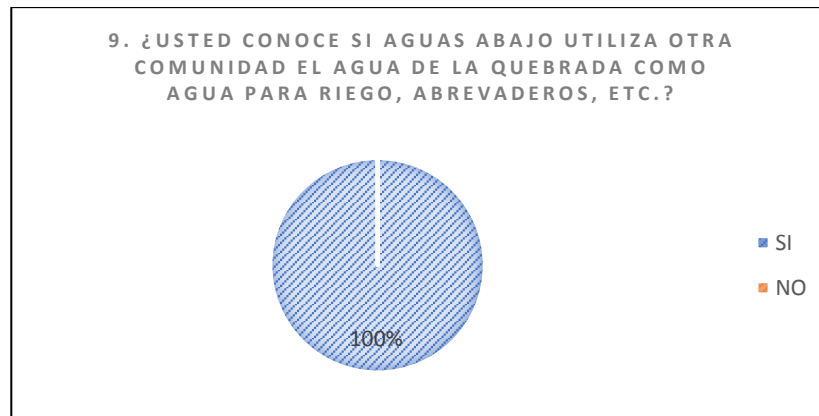


Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

En la comunidad de Pesillo las fuentes de agua son utilizadas como fuente de consumo para los animales, esto se confirma con la Figura 26 en la cual el 100% de los encuestados afirmaron que se utiliza el agua para ese tipo de actividad.

Figura 27

Interpretación Grafica de la Pregunta N°9

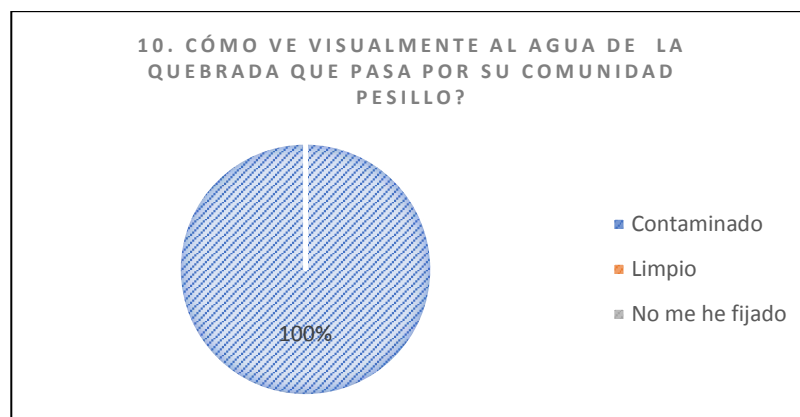


Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

La Figura 27 ilustra que los encuestados conocen la situación de otras comunidades con respecto al uso de la fuente de agua de la quebrada.

Figura 28

Interpretación Grafica de la Pregunta N°10



Nota. Elaborado por Arciniega & Salazar, (2021).

Con la presente pregunta planteada se pudo evidenciar que la comunidad de Pesillo se da cuenta de la contaminación actual existente en la quebrada donde desembocan las aguas residuales domésticas.

5.6. Discusión

El sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto en la comunidad de Pesillo corresponde al método de lodos activados, como indica Romero (2004), es el tratamiento más utilizado para aguas residuales domésticas en comunidades, posee un sistema de aireación que aumenta la concentración de microorganismos los cuales degradan la materia orgánica como se demuestra en la presente investigación con la prueba a escala de laboratorio de lodos activados la DQO inicial fue de 1101 mg/L y disminuyó a 117 mg/L, esto se consiguió añadiendo los lodos al agua residual y sometiendo a aireación. Comparando con Castillo et al. (2011), en la investigación obtuvieron una remoción de 82,3%, por lo cual se demuestra que en aguas residuales domésticas es factible este tratamiento. Como menciona Romero (2004), en este tipo de efluentes se pueden encontrar los nutrientes necesarios como nitrógeno y fósforo los cuales son beneficiosos para el aumento de microorganismos.

Para un diseño con lodos activados fue primordial realizar los cálculos para la obtención de las tasas de lodos los cuales sirven para diseñar el tanque aireador el cual es el corazón de un sistema biológico con lodos activados, como indica Rodríguez et al. (2003), dichas tasas van a variar dependiendo del agua residual a ser tratada. Las medidas del tanque aireador son coherentes a lo indicado por Romero (2004), que señala que un tanque de aireador debe ser de un tamaño grande para evitar un flujo turbulento debido a que inhibe el crecimiento de los microorganismos.

Por medio del análisis social realizado a la comunidad de pesillo se pudo evidenciar que el 100% de los habitantes encuestados ven la necesidad de implementar un sistema de tratamiento debido a que actualmente no cuentan con un tren de tratamiento para sus aguas residuales.

El residuo del lodo dispuesto en el lecho de secado puede servir como abono, como indica Buitrago & Garzón (2019) ya que es un lodo proveniente de un agua residual doméstica. Sin embargo como menciona Bedoya et al. (2013), si se van a usar los lodos residuales es indispensable realizar un análisis CRETIB con el objeto de conocer la composición de los mismos.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

El dimensionamiento de la planta de tratamiento de agua residual se diseñó basándose en la proyección de la población futura de Pesillo para el año 2045 la cual es de 3010 habitantes, con un caudal de diseño de $361,18 \text{ m}^3/\text{día}$ y con los resultados obtenidos de los análisis en laboratorio, diseñando así un sistema de tratamiento viable que cumpla con los límites permisibles establecidos en la normativa ambiental vigente y que tenga un tiempo de vida útil adecuado para evitar un colapso futuro del sistema de tratamiento. Para lo cual el sistema de tratamiento que se requiere construir debe constar con las siguientes unidades: canal de ingreso, criba, trampa de grasas, sedimentador primario, tanque de aireación, sedimentador secundario, lecho de secado y del tanque de cloración.

Se efectuó el levantamiento topográfico, toma de datos y dibujo, del sitio y descarga, con sus detalles de superficie y nivel del terreno para la implantación de las unidades correspondientes de la PTAR. El área requerida para la implementación de la PTAR en la zona indicada es $336,50 \text{ m}^2$.

El cálculo del índice de biodegradabilidad es importante debido a que con este se puede elegir el tratamiento más adecuado al tipo de agua residual a tratar. Al obtener los parámetros de DBO_5 y DQO de los efluentes de Pesillo se pudo obtener mediante la relación DBO_5/DQO un valor promedio de 0,41 con lo cual se determinó que se puede realizar un tratamiento biológico debido a que el agua es muy biodegradable según el índice de biodegradabilidad y por ello resulta factible implementar el método de tratamiento de lodos activados.

Al realizar las pruebas de tratabilidad con lodos activados a escala de laboratorio se obtuvo como DQO inicial 1101 mg/L , mediante el empleo de aireación por 24 horas durante 5 días se

logró una DQO final de 117 mg/L debido a que la aireación es un factor importante porque promueve un mejor desarrollo de la población microbiana presente en el lodo facilitando la degradación y eliminación de la MO del agua residual a tratar. Con lo que se pudo evidenciar que se cumple con la normativa ambiental vigente.

Las tasas de lodos obtenidas en el presente trabajo, para el agua residual doméstica de Pesillo fueron las siguientes: $Y = 0,19 \text{ mg SSV/mg DQO}$, $K_d = 0,002 \text{ día}^{-1}$, $K = 6,05 \text{ día}^{-1}$ y $K_s = 1113,08 \text{ mg/L}$.

Por medio del análisis social realizado mediante encuestas se pudo evidenciar la aceptación del proyecto de implementación de una PTAR en Pesillo, debido a que prestan importancia como comunidad al daño que se le está haciendo a la calidad del agua receptora de las aguas residuales domésticas que sirve a otras comunidades y como abrevadero de sus propios animales. En cuanto al análisis económico se determinó el costo por metro cubico de agua tratada obteniendo así un valor de $0,18 \text{ USD/m}^3$.

6.2. Recomendaciones

Se recomienda realizar un estudio estructural a cargo de un ingeniero civil para determinar a profundidad los costos y volúmenes de obra para la elaboración del presupuesto general de construcción de la planta de tratamiento de agua residual y sus unidades, así como la limpieza, desbroce, replanteo, nivelación, excavación, relleno, compactación del suelo, entre otros; ya que se ha considerado únicamente el costo unitario del hormigón cabe recalcar que en la presente investigación los costos son netamente referenciales.

Si se quiere utilizar los lodos del lecho de secado para actividades de agricultura como abono se debe realizar un análisis CRETIB para conocer a detalle las características del lodo, y así evitar problemas de contaminación en el suelo y pérdida de cultivos.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Acuerdo 097A. (2015). [Ministerio del Ambiente]. *Reforma del texto unificado de legislación secundaria. Registro Oficial N°387.*
- Acuerdo N° 061. (2015). [Ministerio del Ambiente]. *Reforma del libro VI del texto unificado de legislación secundaria.*
- Alviz, A., & Cueto, D. C. (2012). *Diseño de un sistema de aireación para una planta de lodos activados en zona franca Mamonal* [Universidad de Cartagena].
<http://hdl.handle.net/11227/131>
- American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Pollution Control Federation. (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales* (Díaz de Santos (ed.)).
- Arrieta, R. A., & Chica, K. A. (2019). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales con tecnología de lodos activos, para la parroquia de San José de Ayora, Cayambe* [Universidad Politécnica Salesiana]. In *Tesis*.
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17584>
- Bedoya, K., Acevedo, J. M., Peláez, C. A., & Agudelo, S. del P. (2013). Caracterización de biosólidos generados en la planta de tratamiento de agua residual San Fernando, Itagüí (Antioquia, Colombia). *Revista de Salud Pública*, 15(5), 778–790.
<https://www.scielosp.org/article/rsap/2013.v15n5/778-790/es/>
- Borja, X., & Almeida, C. E. (2015). *Evaluación del uso de polímeros en la concentración de biomasa en un reactor de lodos activados* [Escuela Politécnica Nacional].
<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11126>
- Buitrago, D., & Garzón, E. (2019). *Propuesta para la producción de abono orgánico a partir de*

- los lodos residuales generados en la PTAR del parque agroindustrial de occidente operada por Sitaga SAS* [Universidad de América].
- <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2004.3.66178>
- Cánepa de Vargas, L., Barrenechea, A., Maldonado, V., & Aurazo, M. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano: Plantas de filtración rápida-Manual I: Teoría tomo I* (CEPIS/OPS (ed.)). <http://cdam.minam.gob.pe:8080/handle/123456789/109>
- Castillo, E. R., Lizama, C. E., Méndez, R. I., García, J., Espadas, A., & Pat, R. (2011). Tratamiento de efluentes de fosas sépticas por el proceso de lodos activados. *Ingeniería*, 15(3), 157–165. <https://www.redalyc.org/pdf/467/46721167002.pdf>
- COA. (2017). *Código Orgánico del Ambiente. 12 de abril del 2017. Registro Oficial N° 983*.
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Registro Oficial N° 499*.
- Forero, J. E., Díaz, J., & Blandon, V. R. (1999). Diseño de un nuevo sistema de flotación para tratamiento de aguas industriales. *CT y F - Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1(5), 67–75. <http://www.scielo.org.co/pdf/ctyf/v1n5/v1n5a06.pdf>
- GAD Olmedo. (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento territorial de Olmedo 2015-2025*.
- GAD Pichincha. (2012). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Pichincha 2015-2019*.
- Hanna Instruments. (2015). *Manual de instrucciones HI 83399* (Woonsocket (ed.)). <https://doi.org/10.2307/j.ctvvh869w.3>
- Herrera, L., Yabroudi, S., Cárdenas, C., Velásquez, L., Maldonado, H., Vargas, L., & Delgado, J. (2007). Tratamiento biológico de efluentes de industrias procesadoras de cangrejo azul usando lodos activados. *Interciencia*, 32(7), 490–495. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33932711>
- Hreiz, R., Latifi, M. A., & Roche, N. (2015). Optimal design and operation of activated sludge

- processes: State-of-the-art. *Chemical Engineering Journal*, 281(0), 900–920.
- <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.06.125>
- INEC. (2016). *Estadística Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales*. [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2016/Documento tecnico APA 2016.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2016/Documento_tecnico_APA_2016.pdf)
- INEN. (2013). *Agua, Calidad de agua, Muestreo Manejo y Conservación de Muestras*. INEN 2169.
- Levlin, E. (2010). Conductivity measurements for controlling municipal waste-water treatment. *Utron*, 15(0), 51–62. <http://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A497628&dswid=3925>
- Ley Orgánica de Salud. (2015). *Registro Oficial N° 423. 18 de diciembre del 2015*.
- López, C. M., Buitrón, G., García, H. A., & Cervantes, F. J. (2017). *Tratamiento biológico de aguas residuales: principios, modelación y diseño*. (IWA Publishing (ed.)).
- <https://doi.org/10.17345/9788484241027>
- LORHUyA. (2014). *Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua*. *Registro Oficial N° 305. 6 de agosto del 2014*.
- Lozano, W. A. (2012). *Fundamentos de Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. <https://www.researchgate.net/publication/298354134>
- Manrique, K. B., & Palacios, T. M. (2017). *Evaluación económica y financiera de las plantas de tratamiento de aguas residuales de los barrios de Ingapi-Pacto y centro poblado Nono-Nono implementada por parte de la EPMAPS* [Universidad Central Del Ecuador].
- <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/14005?mode=full>
- Mara, Duncan, & Cairncross, S. (1990). *Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y*

excretas en agricultura y acuicultura: medidas de protección de la salud pública

(Organización Mundial de la Salud (ed.)). <https://apps.who.int/iris/handle/10665/39350>

Mara, Duncan. (2003). *Domestic wastewater treatment in developing countries* (Routledge (ed.)).

https://www.pseau.org/outils/ouvrages/earthscan_ltd_domestic_wastewater_treatment_in_developing_countries_2003.pdf

Martín, I., Bentancort, J. R., Salas, J. J., Peñate, B., Pidre, J. R., & Sardón, N. (2006). *Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población. Mejora de la Calidad de los Efluentes.*

https://www.researchgate.net/publication/275949818_Guia_sobre_tratamientos_de_aguas_urbanas_para_pequenos_nucleos_de_poblacion_Mejora_de_la_calidad_de_los_efluentes

Martínez, L. (2010). *Estudio de la evolución de una ETAP para la adecuación legislativa*

[Universidad Politécnica de Catalunya]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/10383>

Metcalf & Eddy. (1998). *Ingeniería de aguas residuales. tratamiento, vertido y reutilización* (McGraw-Hill (ed.)).

Pire, M. C., Sargent, K. R., Fuenmayor, M., Fuenmayor, Y., Acevedo, H., Carrasquero, S., & Díaz, A. (2011). Biodegradabilidad de las diferentes fracciones de agua residual producidas en una tenería. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 21(2), 5–19.

<https://www.redalyc.org/pdf/911/91123440001.pdf>

Ramalho, R. S. (1996). *Tratamiento de aguas residuales* (Reverté (ed.)).

http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf

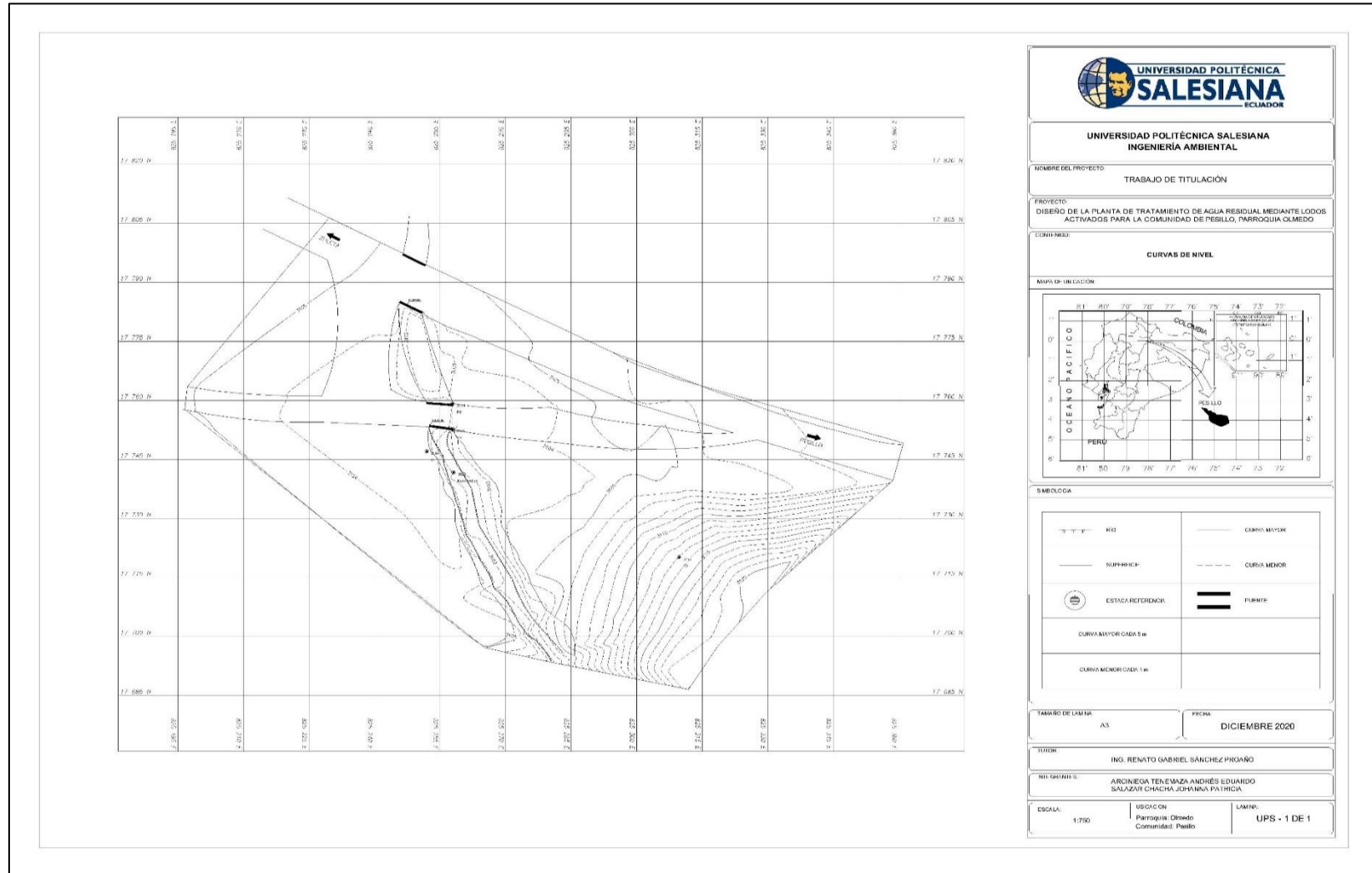
Rodríguez, T., Pérez, E. A., & Vivas, E. (2003). Determinación de las constantes cinéticas y

- estequiométricas en un biorreactor de lodos activados convencional a escala (laboratorio para las aguas residuales de un frigorífico). *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 13(1), 9–16. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5313922>
- Romero, J. A. (2004). *Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño* (Escuela Colombiana de Ingenieros (ed.)).
- Trujillo, D., Duque, L. F., Arcila, J. S., Rincón, A., Pacheco, S., & Herrera, O. F. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. *Revista Ion*, 27(1), 17–34. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-100X2014000100003&script=sci_arttext&tlng=pt
- Valdez, E. C., & Vázquez, A. B. (2003). *Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales* (Fundación ICA (ed.)). http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/ingenieria_de_los_sistemas_de_tratamiento_y_disposicion_de_aguas_residuales_civilgeeks.pdf
- Valencia, A. E. (2013). *Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales de la cabecera parroquial de San Luis-Provincia de Chimborazo* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3118>
- Varila, J. A., & Díaz, F. E. (2008). Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala laboratorio. *Revista de Tecnología*, 7(2), 21–28. https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2017-01-27_02-59-21139703.pdf
- Velp Scientifica. (s.f.). *Equipos Velp para determinación Manométrica de la D.B.O.*

8. ANEXOS

Anexo 1

Curvas de Nivel



Anexo 2

Modelo de Encuesta

ENCUESTA SOBRE AGUAS RESIDUALES

Descripción: La presente encuesta busca conocer la percepción de la comunidad de Pesillo sobre el tratamiento de aguas residuales actual.

Instrucciones: Responda las siguientes preguntas, encerrando la respuesta que considere.

1. ¿Usted conoce que es agua residual?
SI NO
2. ¿Usted conoce a dónde van las aguas residuales (baños, cocina, lavado de ropa, etc) que salen de su vivienda?
SI NO
3. ¿Usted conoce que el agua residual es una problemática de contaminación al agua?
SI NO
4. ¿Usted conoce que es un sistema de tratamiento de aguas residuales y cuál es su utilidad?
SI NO
5. ¿Usted conoce qué tratamiento se les dan a las aguas residuales que salen de su vivienda?
SI NO
6. ¿Cree usted que las autoridades competentes demuestran interés para que se dé tratamiento a las aguas residuales de la comunidad de Pesillo?
SI NO
7. ¿Desde su perspectiva, está usted de acuerdo con la implementación de una planta de tratamiento de agua residual para la comunidad de Pesillo?
SI NO
8. ¿Usted conoce si la comunidad de Pesillo utiliza las fuentes de agua de la quebrada como abrevadero de animales (vacas, ovejas, cabras, etc.)?
SI NO
9. ¿Usted conoce si aguas abajo utiliza otra comunidad el agua de la quebrada como agua para riego, abrevaderos, etc.?
SI NO
10. ¿Cómo ve visualmente al cuerpo al agua de la quebrada que pasa por la comunidad de Pesillo?
Limpio
Contaminado
No me he fijado

¡GRACIAS POR SU COLABORACIÓN!

Anexo 3

Socialización del Proyecto de Investigación en la Comunidad de Pesillo



Nota. La socialización fue realizada con miembros de la Junta de Agua Potable y Alcantarillado de Pesillo y con habitantes de la comunidad.

Anexo 4

Evidencia Fotográfica del Muestreo y Análisis In Situ en Pesillo



Nota. Se realizó un muestreo compuesto durante un periodo de 7 días.

Anexo 5

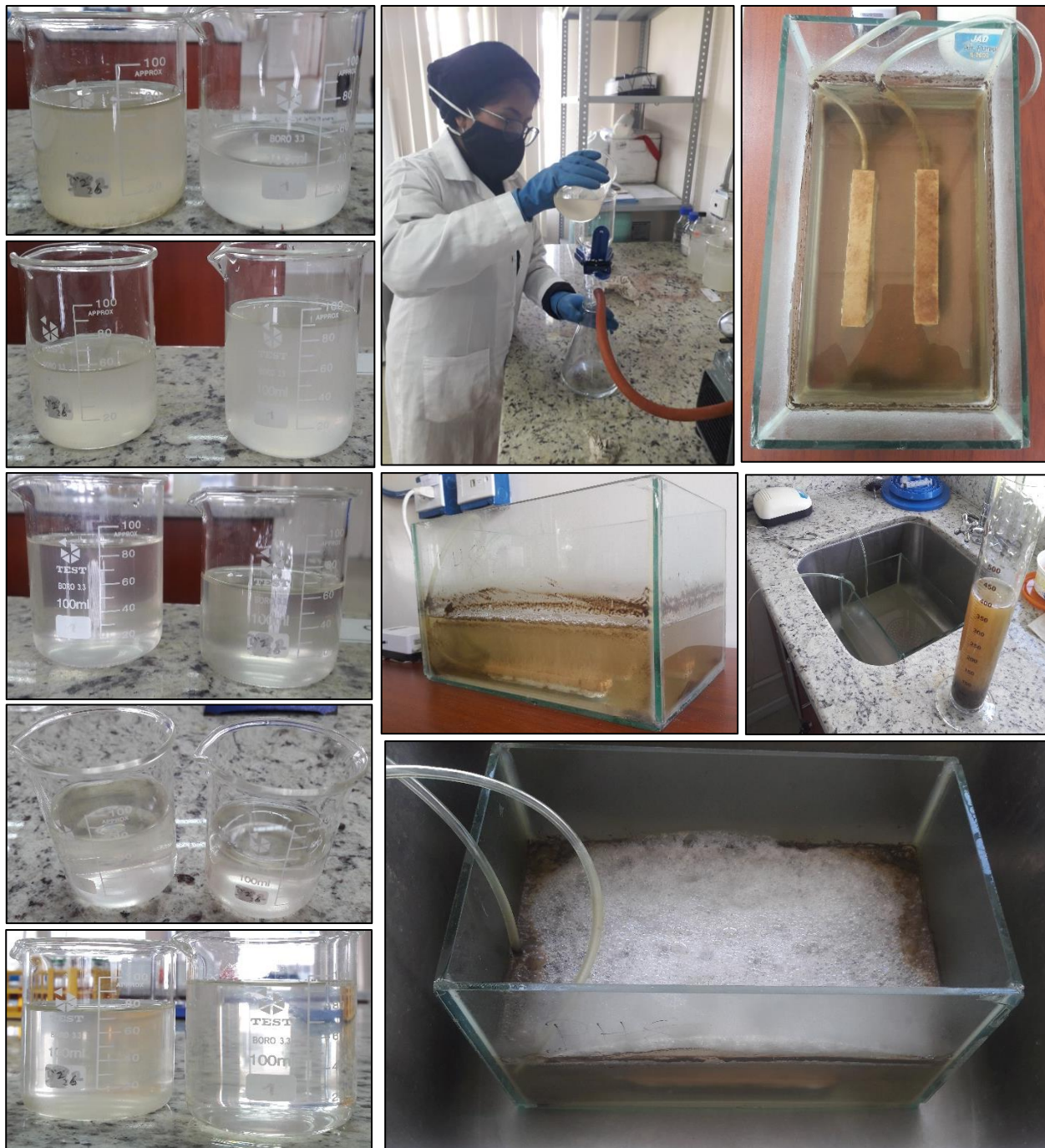
Evidencia Fotográfica del Análisis en Laboratorio



Nota. Se aprecian los análisis realizados de DQO, DBO, ST, SST, SSed, Nitritos, Nitratos y Fosfatos.

Anexo 6

Evidencia Fotográfica de la Tratabilidad a Escala de Laboratorio



Nota. Se puede apreciar visualmente en las imágenes el cambio del agua residual por la prueba de tratabilidad con lodos activados desde el primer día y último día de aireación.

Anexo 7

Evidencia Fotográfica del Levantamiento Topográfico



Nota. En la imagen se observa la realización del levantamiento topográfico.

Anexo 8

Resultados Realizados en Laboratorio de Suelo y Agua Cayambe UPS

	
LABORATORIO DE SUELOS Y AGUA	
Cliente: ANDRÉS EDUARDO ARCINIEGA TENEMAZA	Tel/Cel.: (+593) 98 470 8365
Dirección: Comunidad Pesillo, Cayambe	E-mail: andres_mejia1996@hotmail.com
Contacto: Ing. Renato Sánchez	Nº de Informe: 20 241
Cantidad de muestras: 1	Fecha Emisión: agosto 19, 2020
Fecha de ingreso: julio 27, 2020	Fecha de Análisis: julio 27 al 4 de agosto, 2020
Característica de la Muestra: agua residual	

Identificación de Usuario	Unidad	QUEBRADA LA MÁQUINA	MÉTODO DE VALORACIÓN
Código de laboratorio Parámetros		LSA20 360	
Temperatura	°C	17,30	ELECTRÓNICO HANNA
Potencial Hidrógeno	U pH	7,38	SM. 4500-H+ A y 4500-H+ 8
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	76,70	SM. 5210 B
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	150,00	SM. 5220 D
Coliformes Totales	nmp/100mL	$3,1 \times 10^7$	SM 9222:D
Coliformes fecales	nmp/100mL	$1,7 \times 10^8$	SM 9222:D

DATOS ADICIONALES:
U pH: unidades; mg/L: miligramos por litro; nmp/100mL: número más probable cada 100 mililitros de muestra;

SM.: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22h Edition, 2012 -AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. "APHA";

Observaciones
Los resultados corresponden únicamente a la(s) muestra(s) entregada(s) por el CLIENTE;


Ing. Agr. Orlando Gualavisi
Técnico de Suelos y Agua





LABORATORIO DE SUELOS Y AGUA

Cayambe, Av. Natalia Jarrín N3-85 y 9 de Octubre. Teléfonos: 593 (2) 3962946 / 3962800 ext. 2504-2534.
Correo electrónico: ogualavisi@ups.edu.ec / bioagrolab@ups.edu.ec

Anexo 9


Resultados AyG Muestra 1 Realizados en Laboratorio Environovalab


		INFORME DE RESULTADOS No. 2020-218			
Cliente:	JOHANNA SALAZAR				
Teléfono:	0986628866				
Dirección:	Machachi				
Fecha emisión de informe:	25/09/2020				
Muestra tomada por:	Cliente				
Procedimiento de Toma de muestras:	---				
Fecha y hora de recepción de muestras:	14/09/2020 12:30				
Período de análisis:	14/09/2020-25/09/2020				

INFORMACION DE LA MUESTRA						
CODIGO LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM	OBSERVACIONES
A20-218	AGUA RESIDUAL DOMESTICA 1	No indicado por el cliente	No indicado por el cliente	Parroquia Olmedo, Comunidad Pesillo	825256 17745	Agua residual, muestra compuesta

RESULTADOS				
PARAMETRO	METODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE
ACEITES Y GRASAS	PE-08 SM 5520 B, Ed. 23 2020	mg/l	68.0	16.7 mg/l

Notas:
 Environovalab, Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE Acreditación No. SAE LEN 18-040
 s: Ensayo realizado por un laboratorio subcontratado Acreditación No. SAE-LEN-05-005
 Los ensayos marcados con (*) No están incluidos en el alcance de la acreditación de SAE
 SM: Standard Methods
 Las muestras serán descartadas 15 días después de la entrega del informe de resultados
 Los valores reportados en el presente informe solo se refieren a la muestra analizada
 Environovalab declina toda responsabilidad por el uso de los resultados presentados
 Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Environovalab


 MIRYAN FLORES
 GERENTE





Environovalab. Av. Diego de Vásquez N74-65 y Prados del Oeste sector Ponceano, Quito - Telf: 5142747 / 0993461974
 environovalab@gmail.com

R-5.10-01a Edición: 07 Página 1 de 1

Anexo 10


Resultados AyG Muestra 2 Realizados en Laboratorio Environovalab


		INFORME DE RESULTADOS No. 2020-219			
Cliente:	JOHANNA SALAZAR				
Teléfono:	0986628866				
Dirección:	Machachi				
Fecha emisión de informe:	25/09/2020				
Muestra tomada por:	Cliente				
Procedimiento de Toma de muestras:	---				
Fecha y hora de recepción de muestras:	14/09/2020 12:30				
Período de análisis:	14/09/2020-25/09/2020				

INFORMACION DE LA MUESTRA						
CODIGO LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM	OBSERVACIONES
A20-219	AGUA RESIDUAL DOMESTICA 2	No indicado por el cliente	No indicado por el cliente	Parroquia Olmedo, Comunidad Pesillo	825256 17745	Agua residual, muestra compuesta

RESULTADOS				
PARAMETRO	METODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE
ACEITES Y GRASAS	PE-08 SM 5520 B, Ed. 23 2020	mg/l	108.0	26.5 mg/l

Notas:
 Environovalab, Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE Acreditación No. SAE LEN 18-040
 s: Ensayo realizado por un laboratorio subcontratado Acreditación No. SAE-LEN-05-005
 Los ensayos marcados con (*) No están incluidos en el alcance de la acreditación de SAE
 SM: Standard Methods
 Las muestras serán descartadas 15 días después de la entrega del informe de resultados
 Los valores reportados en el presente informe solo se refieren a la muestra analizada
 Environovalab declina toda responsabilidad por el uso de los resultados presentados
 Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Environovalab


 MIRYAM FLORES
 GERENTE

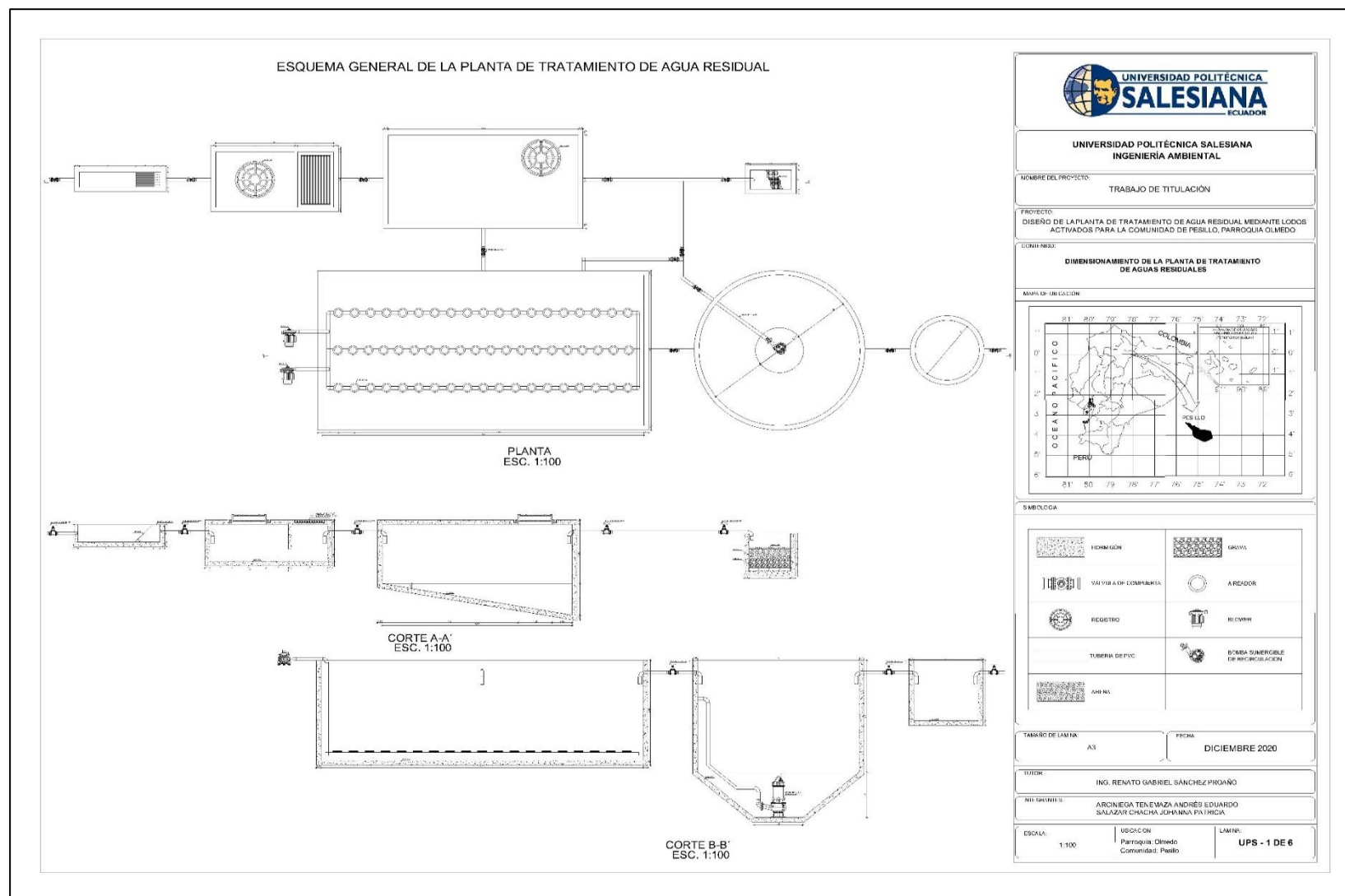


Environovalab, Av. Diego de Vázquez N74-65 y Prados del Oeste sector Ponceano, Quito - Telf: 5142747 / 0993461974
 environovalab@gmail.com

R-5.10-01a Edición: 07 Página 1 de 1

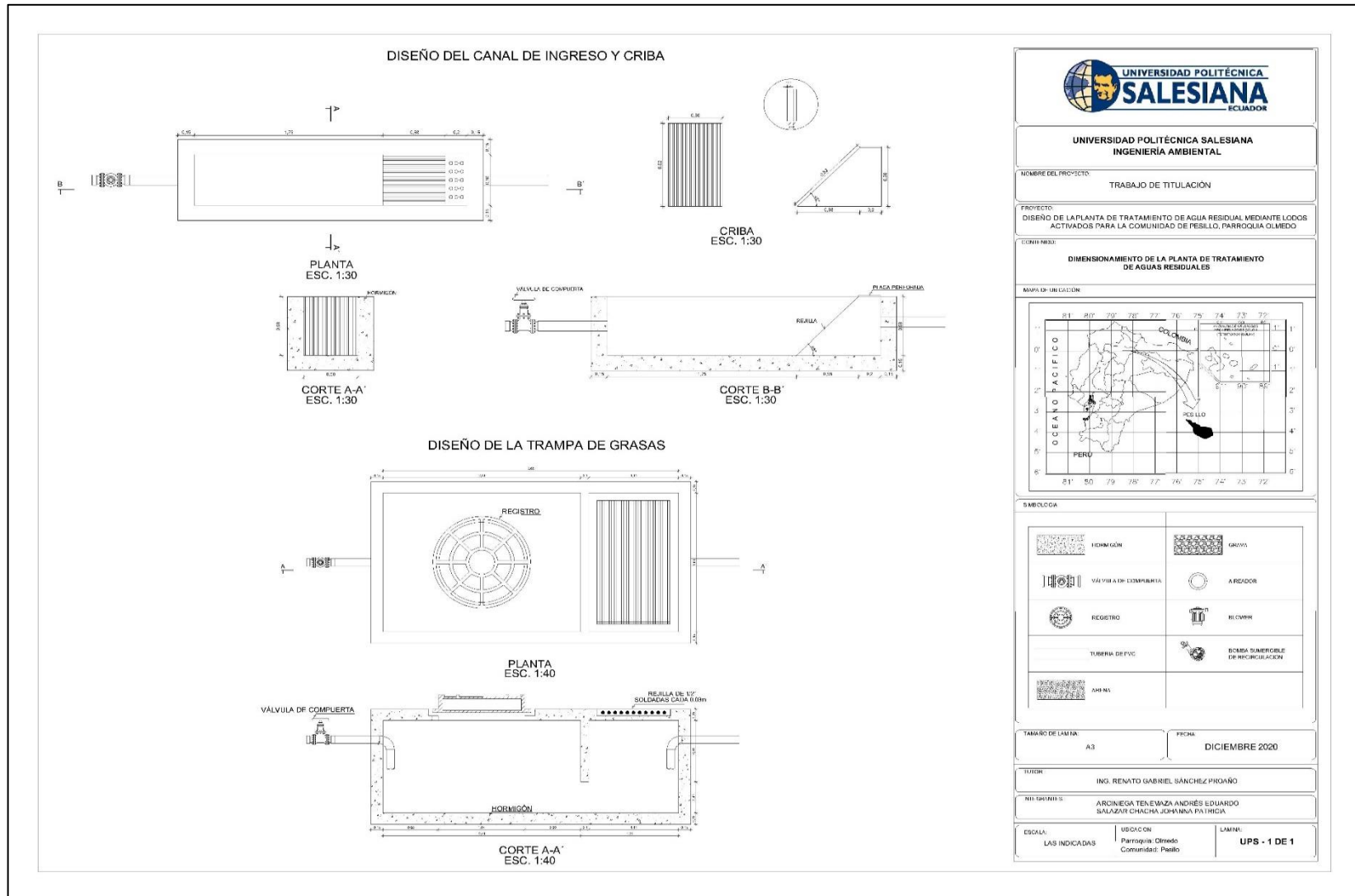
Anexo 11

Esquema General de la Planta de Tratamiento de Agua



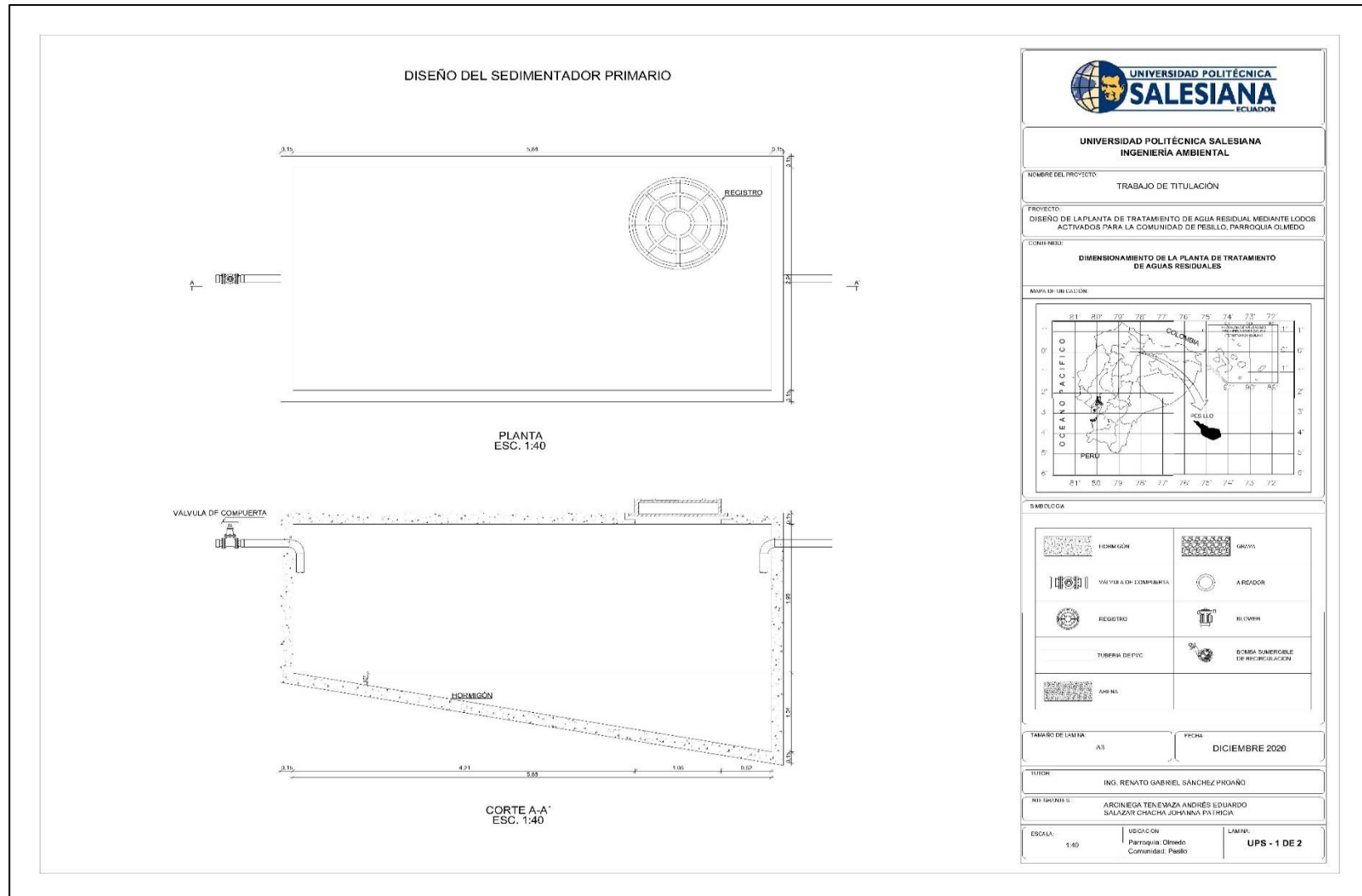
Anexo 12

Diseño del Canal de Llegada, Criba y Trampa de Grasas



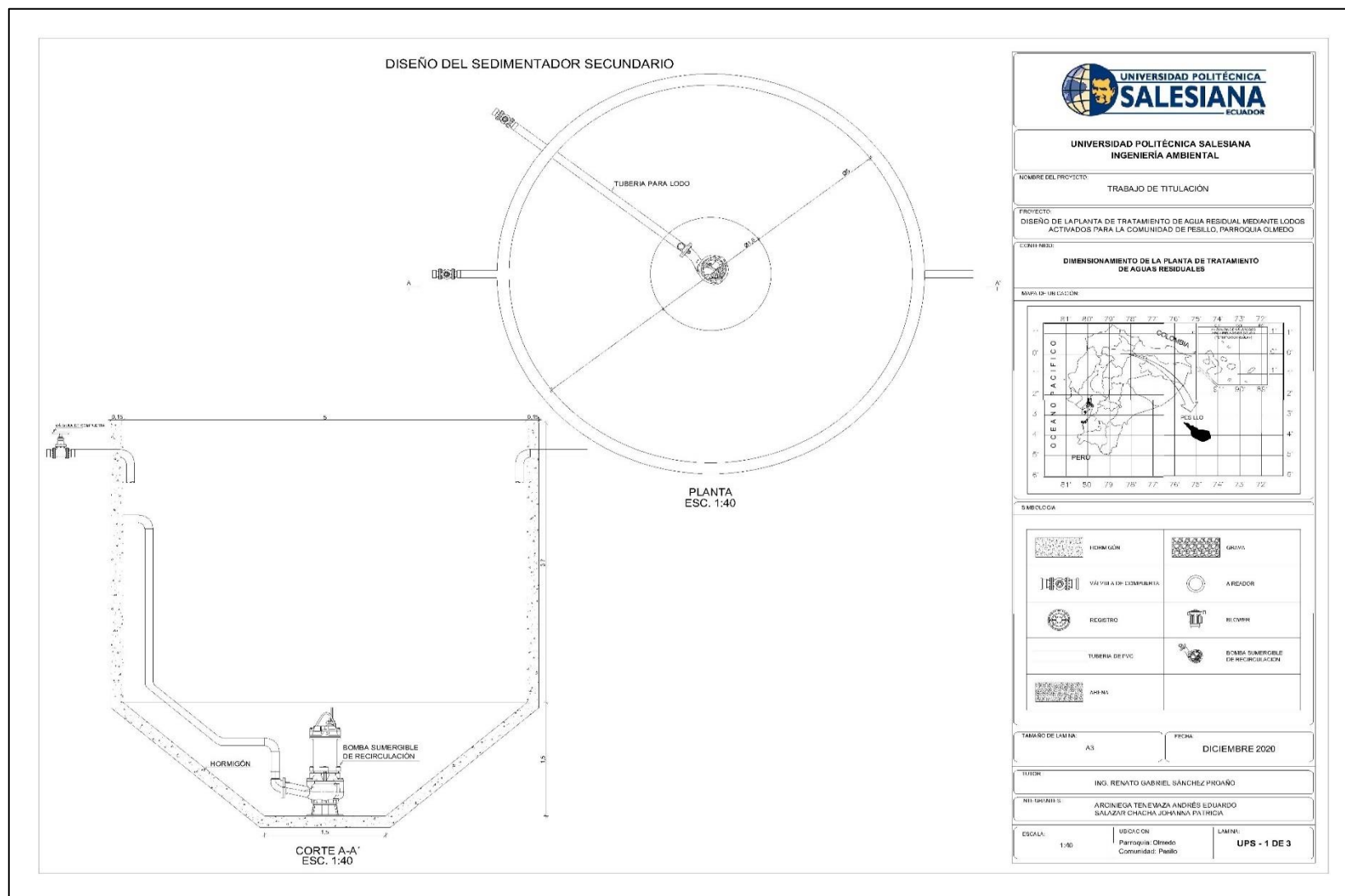
Anexo 13

Diseño del Sedimentador Primario



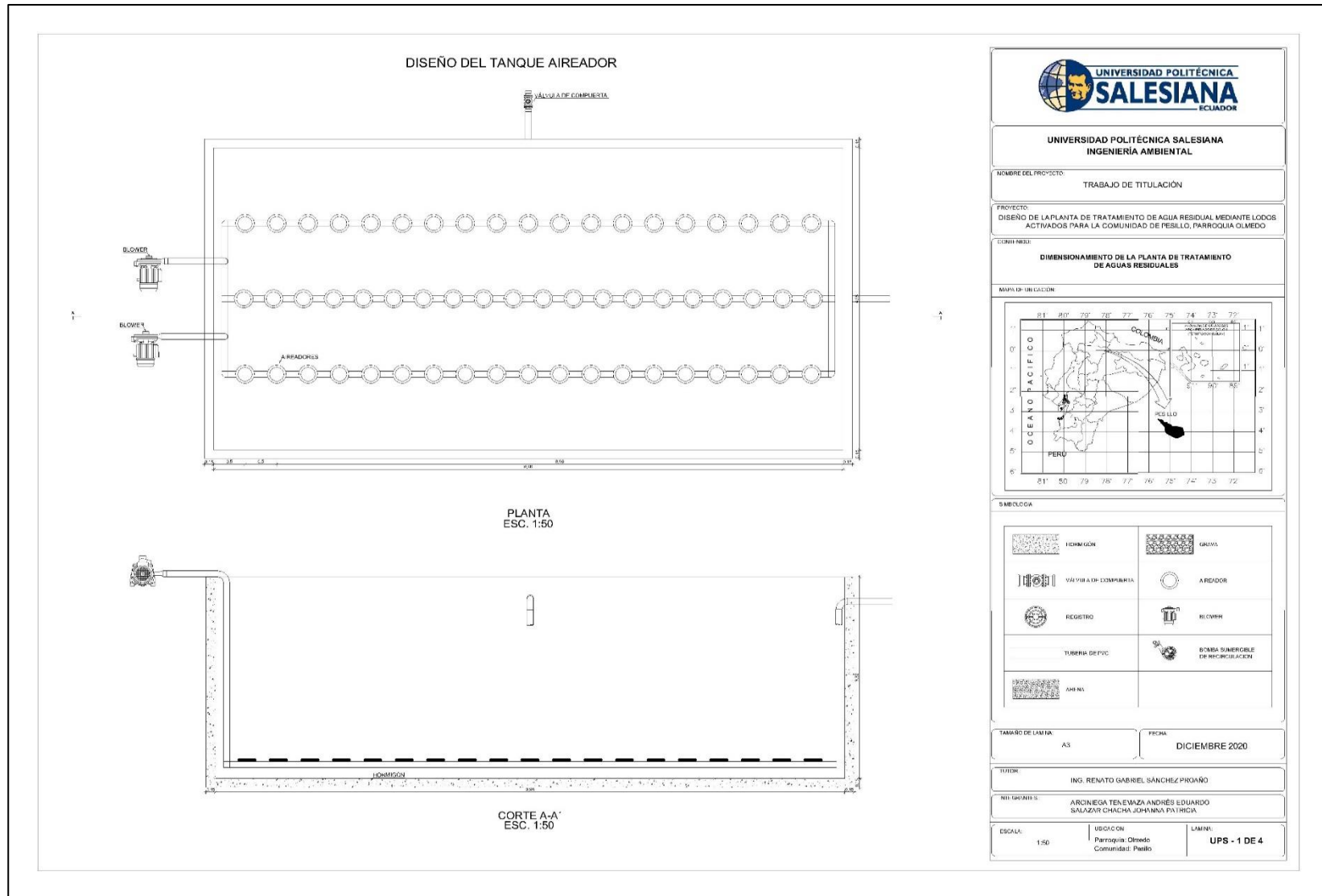
Anexo 14

Diseño del Sedimentador Secundario



Anexo 15

Diseño del Tanque Aireador



Anexo 16

Diseño del Tanque de Cloración y Lecho de Secado

